

POWERED BY **Dialog**

**Movement transmission device; has unit for each input degree of freedom connected in parallel at output sections with fixed first and moving second sessions having joint devices formed of flectors**  
**Patent Assignee:** AGIE SA; AGIE LOSONE IND ELEKTRONIK AG; AYMONT C; BOTTINELLI S;  
 CLAVEL R; HENEIN S  
**Inventors:** AYMONT C; BOTTINELLI S; CLAVEL R; EPF S H; AYMONT C E; BOTTINELLI S E;  
 HENEIN S E; HENEIN S

**Patent Family**

Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Week	Type
EP 1113191	A2	20010704	EP 2000127700	A	20001218	200146	B
DE 19962247	A1	20010920	DE 1062247	A	19991222	200155	
JP 2001304367	A	20011031	JP 2000390599	A	20001222	200204	
US 20020020069	A1	20020221	US 2000747906	A	20001222	200221	
US 6453566	B1	20020924	US 2000747906	A	20001222	200266	

**Priority Applications (Number Kind Date):** DE 1062247 A ( 19991222)

**Patent Details**

Patent	Kind	Language	Page	Main IPC	Filing Notes
EP 1113191	A2	G	22	F16H-021/04	
Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI TR					
DE 19962247	A1			B25J-011/00	
JP 2001304367	A		64	F16H-023/04	
US 20020020069	A1			G01B-005/00	
US 6453566	B1			G01B-005/00	

**Abstract:**

EP 1113191 A2

**NOVELTY** The device has a transmission unit (2) for each input degree of freedom. The transmission units are connected in parallel at their output sections (8). Each transmission unit has a fixed first section (4) and an input section (6) formed from a first joint devices (22-28,34,36), which is connected to move in the direction of the corresponding degree of freedom.

**DETAILED DESCRIPTION** The second section is formed so that it permits a free movement through a second joint device (46-52,58,60) in the degree of movement of the other transmission unit. The two joint devices are formed as flectors. The second joint device and the output section are formed, so that they form a rigid structure along the input side degree of freedom of the assigned transmission unit.

INDEPENDENT CLAIMS are included for a positioning device with the movement transmission device and for a measurement device to measure a movement.

USE To transmit at least two input-side movement components, each with one degree of freedom, to one output movement with at least two degrees of freedom, or the other way around. To move positioning or measurement device for work piece processing, electrical discharge machining, electrochemical processing, semiconductor manufacture, the manufacture of opto-electronic connection components and microsystems, robotics, or as a force sensor or joystick with force feedback (All claimed).

ADVANTAGE Enables precision movement.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) The figure shows a view of an example of a transmission unit of the device.

Transmission unit (2)

First section (4)

Second section (6)

Output section (8)

Side faces (10-16)

Projections (18,20)

Beams (22,24,46,48)

Flectors (26,28)

First leg section (30)

Additional flectors (34,36)

Projections (42,44)

Double flectors (50,52)

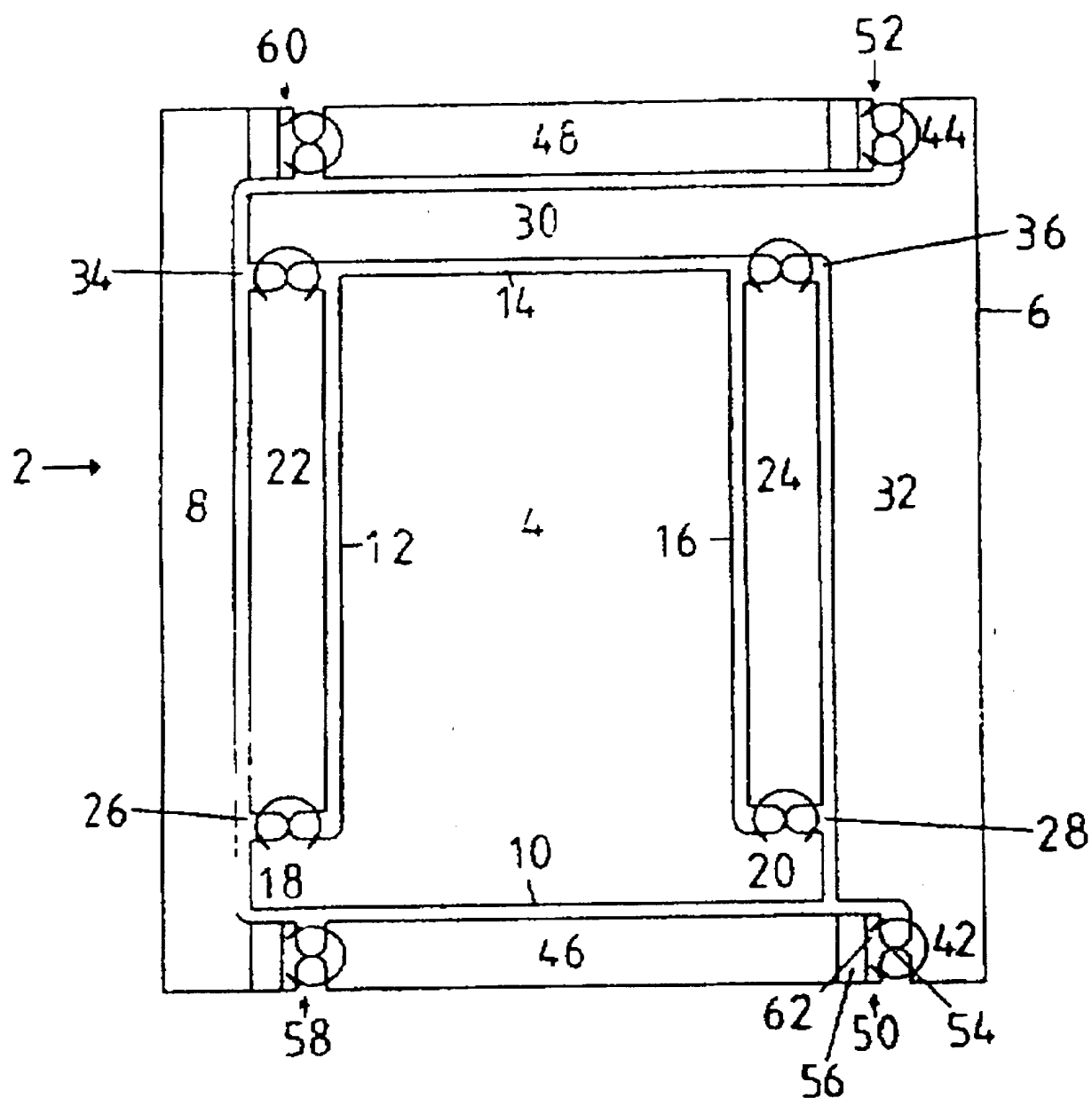
First flector of double flectors (54)

Second flector of double flectors (56)

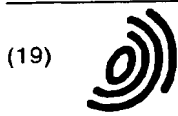
Second double flectors (58,60)

Load distribution section (62)

pp; 22 DwgNo 1a/8



Derwent World Patents Index  
© 2003 Derwent Information Ltd. All rights reserved.  
Dialog® File Number 351 Accession Number 13942927



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 1 113 191 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(51) Int Cl.7: F16H 21/04

(21) Anmeldenummer: 00127700.3

(22) Anmeldetag: 18.12.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

- Henein, Simon, Ing. EPF  
2000 Neuchatel (CH)
- Aymon, Cédric, Ing. EPF  
1966 Ayent (CH)
- Clavel, Reymond, Prof. Dr.  
1041 Oulens-sous-Echallens (CH)

(30) Priorität: 22.12.1999 DE 19962247

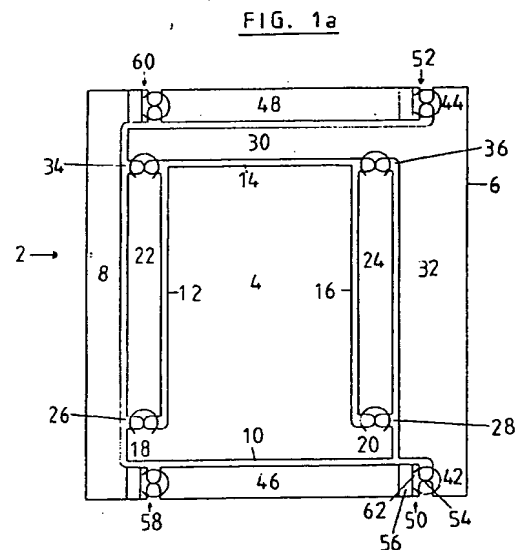
(71) Anmelder: AGIE SA  
6616 Losone (CH)

(74) Vertreter: Niederkofler, Oswald A. Dipl.-Phys. et al  
Samson & Partner  
Widenmayerstrasse 5  
D-80538 München (DE)

(72) Erfinder:  
• Bottinelli, Stefano, Ing. ETS  
6854 S. Pietro (CH)

(54) Bewegungsübertragungsvorrichtung

(57) Die Erfindung betrifft eine Bewegungsübertragungsvorrichtung zum Übertragen von wenigstens zwei eingangsseitigen (6) Bewegungskomponenten mit jeweils einem Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige (82, 84) Bewegung mit wenigstens zwei gekoppelten Bewegungsfreiheitsgraden oder umgekehrt, welche pro eingangsseitigem (6) Bewegungsfreiheitsgrad eine Übertragungseinheit (2) umfaßt, wobei diese Übertragungseinheiten (2) über ihre jeweiligen Ausgangsabschnitte (8) funktionell parallel miteinander gekoppelt sind, jede Übertragungseinheit (2) einen festlegbaren ersten Abschnitt (4) und als Eingangsabschnitt einen an diesem ersten Abschnitt (4) über ein erstes Gelenkmittel (22, 26, 34; 24, 28, 36) angelenkten zweiten Abschnitt (6) umfaßt, der in Richtung des entsprechenden Bewegungsfreiheitsgrads der Übertragungseinheit (2) beweglich angelenkt ist, wobei der zweite Abschnitt (6) so ausgebildet ist, daß er über ein zweites Gelenkmittel (46, 50, 58; 48, 52, 60) ausgangsseitig eine freie Bewegung entlang der Bewegungsfreiheitsgrade der anderen Übertragungseinheiten (2) zuläßt. Zum Erhöhen der Bewegungspräzision einer solchen Bewegungsübertragungsvorrichtung ist das erste (22, 26, 34; 24, 28, 36) und/oder das zweite (46, 50, 58; 48, 52, 60) Gelenkmittel als Biegegelenk ausgebildet. Ferner sind hierfür der zweite Abschnitt (6), das zweite Gelenkmittel (50; 52; 58; 60) und der Ausgangsabschnitt (8) derart ausgebildet, daß sie zusammen entlang des eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrades der zugehörigen Übertragungseinheit (2) eine steife Struktur bilden.



EP 1 113 191 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bewegungsübertragungsvorrichtung zum Übertragen von wenigstens zwei eingangsseitigen Bewegungskomponenten mit jeweils einem Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige Bewegung mit wenigstens zwei Bewegungsfreiheitsgraden oder umgekehrt, welche pro eingangsseitigem Bewegungsfreiheitsgrad eine Übertragungseinheit umfaßt, wobei diese Übertragungseinheiten über ihre jeweiligen Ausgangsabschnitte funktionell parallel miteinander gekoppelt sind, jede Übertragungseinheit einen festlegbaren ersten Abschnitt und als Eingangsabschnitt einen an diesem ersten Abschnitt über ein erstes Gelenkmittel angelenkten zweiten Abschnitt umfaßt, der in Richtung des entsprechenden Bewegungsfreiheitsgrads der Übertragungseinheit beweglich angelenkt ist, wobei der zweite Abschnitt so ausgebildet ist, daß er über ein zweites Gelenkmittel ausgangsseitig eine freie Bewegung entlang der Bewegungsfreiheitsgrade der anderen Übertragungseinheiten zuläßt.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner eine Bewegungsübertragungsvorrichtung zum Übertragen von drei eingangsseitigen Bewegungskomponenten mit jeweils einem Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige Bewegung mit drei Bewegungsfreiheitsgraden oder umgekehrt, welche drei Übertragungseinheiten mit jeweils einem Eingangs- und einem Ausgangsabschnitt umfaßt, die über ihre Ausgangsabschnitte funktionell parallel miteinander gekoppelt sind, jede Übertragungseinheit eine Erstreckungsrichtung von ihrem jeweiligen Eingangsabschnitt zu ihrem jeweiligen Ausgangsabschnitt aufweist und als Biegeelenke ausgebildete Gelenkmittel derart umfaßt, daß ihr jeweiliger Ausgangsabschnitt freie Bewegungen senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung zuläßt, wobei die Eingangsabschnitte der Übertragungseinheiten derart ausgestaltet sind, daß die jeweilige eingangsseitige Bewegung in einem Winkel zur Erstreckungsrichtung eingeleitet wird.

**[0003]** Die erstgenannte gattungsgemäße Bewegungsübertragungsvorrichtung ist beispielsweise aus dem CH-Patent 672089 bekannt, das eine Positionierungsvorrichtung mit einer solchen Bewegungsübertragungsvorrichtung beschreibt. Diese Bewegungsübertragungsvorrichtung weist drei funktionell parallel geschaltete Übertragungseinheiten auf, die zusammen ein Positionieren eines Ausgangsteils der Positionierungsvorrichtung in drei Bewegungsfreiheitsgraden gestattet. Die Positionierungsvorrichtung umfaßt pro Übertragungseinheit eine feste Basis mit einem Aktuator, der einen beweglichen Abschnitt der Bewegungsübertragungsvorrichtung antreibt. Der bewegliche Abschnitt wiederum weist seinerseits jeweils zwei mittels eines Gestänges verbundene Kardangelenke auf und ist über diese mit dem beweglichen Ausgangsteil der Bewegungsübertragungsvorrichtung verbunden. Insgesamt schwenkt der Aktuator jeder Übertragungseinheit seinen zugehörigen

beweglichen Abschnitt um eine entsprechende drehbar gelagerte Schwenkachse. Die beiden über ein Gestänge miteinander verbundenen Kardangelenke der beweglichen Abschnitte erlauben dabei eine Bewegung jeder Übertragungseinheit in Richtung der Schwenkbewegung der anderen beiden Übertragungseinheiten. Insgesamt macht das bewegliche Ausgangsteil dieser Bewegungsübertragungsvorrichtung eine Bewegung im Raum, bei welcher die Neigung und Orientierung dieses Ausgangsteils unverändert bleibt, wie auch immer die drei Übertragungseinheiten angetrieben werden. Aufgrund der Ausgestaltung mit Drehachsen und Kardangelenken eignet sich diese Bewegungsübertragungsvorrichtung jedoch nur bedingt für Präzisionsarbeiten, da diese Gelenkarten nur mit großem technischen Aufwand mit dem hierfür erforderlichen Minimum an Bewegungsspiel gefertigt werden können.

**[0004]** Die zweitgenannte gattungsgemäße Bewegungsübertragungsvorrichtung ist beispielsweise aus der DE 37 21 682 A1 bekannt. Diese Druckschrift zeigt in einer Ausführungsform eine Bewegungsübertragungsvorrichtung mit drei Übertragungseinheiten, die eingangsseitig jeweils mit einer zur Erstreckungsrichtung der jeweiligen Übertragungseinheit unter einem Winkel verlaufenden Linear- oder Planarbewegung beaufschlagt werden. Die Übertragungseinheiten bestehen jeweils aus einem Tragarm, der über je ein Festkörpergelenk, beispielsweise ein Filmscharnier, mit dem Eingangs- und dem Ausgangsabschnitt der jeweiligen Übertragungseinheit gekoppelt ist. Die drei Übertragungseinheiten sind über ihre Ausgangsabschnitte miteinander gekoppelt. Mit der speziellen Ausgestaltung der Übertragungseinheiten, insbesondere der Festkörpergelenke, sind jedoch Verstellbewegungen im Mikrometerbereich nicht genügend genau einstellbar und weisen ein zu starkes Spiel bzw. Lose auf.

**[0005]** Die EP 0 937 961 A2 zeigt einen Mechanismus für eine mehrachsige Positionierungsvorrichtung, die einen festen und einen beweglichen Abschnitt aufweist, die pro Achse über eine Übertragungseinheit zum Übertragen der Kraft auf das bewegliche Teil miteinander verbunden sind. Die Übertragungseinheiten weisen ein aus zwei parallelen Stangen bestehendes flexibles Mittel auf, das pro Stange jeweils zwei Biegeabschnitte umfaßt. Hierzu bestehen die Stangen jeweils aus Hohlrohren, die an den Biegeabschnitten unterbrochen sind und dort ein Klavierdraht eingeschoben ist. Die Übertragungseinheiten übertragen die Kraft entlang ihrer Erstreckungsachse auf das bewegliche Teil und lassen eine freie Bewegung senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung bzw. entlang der Achsen der anderen Übertragungseinheiten zu.

**[0006]** Aus dem US-Patent 4,888,878 ist ferner eine Positionierungsvorrichtung mit einer Bewegungsübertragungsvorrichtung bekannt, die in der Lage ist drei oder mehrere Bewegungsfreiheitsgrade anzusteuern. Hierzu weist die Bewegungsübertragungsvorrichtung mehrere funktionell seriell geschaltete Übertragungseinheiten

ten auf, von denen jede über ihren Ausgang mit dem Eingang einer nächsten Übertragungseinheit gekoppelt ist. Die in der Kette zuerst liegende Übertragungseinheit ist mit einer festen Basis und die in der Kette zuletzt liegende Übertragungseinheit mit dem angesteuerten Ausgang der Bewegungsübertragungsvorrichtung gekoppelt. Jede Übertragungseinheit weist ein Antriebsmittel auf, das einen beweglichen zweiten Abschnitt bezüglich eines "festen" Abschnitts antreibt. Der bewegliche zweite Abschnitt ist mit dem "festen" Abschnitt über Biegegeelenke gekoppelt. Der Nachteil dieser Bewegungsübertragungsvorrichtung liegt darin, daß aufgrund seines seriellen Aufbaus jede Übertragungseinheit mit dem Gesamtgewicht der nachfolgenden Übertragungseinheiten belastet ist, wodurch vor allem die Dynamik aber auch sonstige Eigenschaften nachteilig verschlechtert werden.

**[0007]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die gattungsgemäßen Bewegungsübertragungsvorrichtungen mit ihrer funktionell parallelen Kinematik dahingehend weiterzuentwickeln, daß sie Präzisionsbewegungen ermöglichen.

**[0008]** Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Gegenständen der Ansprüche 1 und 25. Weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

**[0009]** Nach Anspruch 1 sind bei einer gattungsgemäßen ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung das erste und das zweite Gelenkmittel als Biegegeelenk ausgebildet, und der zweite Abschnitt, das zweite Gelenkmittel und der Ausgangsabschnitt sind derart ausgebildet, daß sie zusammen entlang des eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrads der zugehörigen Übertragungseinheit eine steife Struktur bilden. Hierbei wird insbesondere die dem Eingangsabschnitt (dem zweiten Abschnitt) aufgeprägte eingangsseitige Bewegung präzise an den Ausgang übertragen. Der Hauptvorteil in der Verwendung von Biegegeelenken gegenüber Gleitlagern oder Wälzlagern als Gelenkmittel ist das Fehlen von Reibung, Abnutzung, mechanischem Spiel und die Unanfälligkeit gegenüber Verschmutzung. Ferner kann abhängig von dem gewählten Gesamtaufbau einer Übertragungseinheit eine hohe mechanische Steifigkeit der Bewegungsübertragungsvorrichtung erzielt werden, was insbesondere für Präzisionsbewegungen zwingend erforderlich ist. Insgesamt können mit einer solchen Bewegungsübertragungsvorrichtung Positionierungen des Ausgangsabschnittes beispielsweise im Bereich von  $1/100 \mu\text{m}$  für Gesamtverfahrwege von etwa  $\pm 1 \text{ mm}$  pro Richtung erzielt werden.

**[0010]** Unter einem Biegegeelenk soll jede Art elastischen Gelenks verstanden werden, wie beispielsweise bestimmte Anordnungen unterschiedlich elastischer Materialien, etc. (siehe auch weiter unten). Ein solches Biegegeelenk kann dabei unterschiedliche Bewegungsarten durchführen, beispielsweise eine Schwenkbewegung, eine Torsionsbewegung oder eine axiale Bewegung (Stauchung bzw. Dehnung). Für eine Zusammen-

schau spezieller Biegegeelenke wird auch auf die in der Figurenbeschreibung im letzten Abschnitt angegebene Veröffentlichung verwiesen, deren Offenbarung durch Bezugnahme in diese Beschreibung mit aufgenommen ist.

**[0011]** Ferner soll die Bewegungsübertragungsvorrichtung wenigstens so aufgebaut sein, daß sie zwei eingangsseitige Bewegungskomponenten (beispielsweise zwei translatorische Eingangsbewegungen entlang der X- und der Y-Achse) in eine Ausgangsbewegung der Bewegungsübertragungsvorrichtung mit wenigstens zwei gekoppelten Bewegungsfreiheitsgraden, beispielsweise ebenfalls in X- und Y-Richtung überträgt. Hierbei ist jedoch nicht zwingend erforderlich, daß translatorische Bewegungen wiederum in translatorische Bewegungen übersetzt werden müssen. Es können außerdem beliebige Kombinationen von Rotations- und Translationsbewegungen (die Schwenkbewegung wird hier als eine Kombination der Rotations- und der Translationsbewegung angesehen) in eine Ausgangsbewegung umgeformt werden, die ebenfalls unterschiedliche Arten an Bewegungsfreiheiten aufweisen kann (z. B. irgendeine Kombination aus Rotations- und Translationsbewegungen).

**[0012]** Außerdem muß die Umformung nicht im Verhältnis 1:1 erfolgen, d. h. die Anzahl der eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrade muß nicht zwingend der Anzahl der ausgangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrade entsprechen. Dies soll lediglich für den einfachsten Fall von zwei eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgraden gelten, die in eine Ausgangsbewegung mit zwei gekoppelten Bewegungsfreiheitsgraden umgeformt werden. Schließlich muß ein Bewegungsfreiheitsgrad nicht einem reinen Translations- oder Rotationsbewegungsfreiheitsgrad entsprechen. Der Eingangsabschnitt einer Übertragungseinheit kann beispielsweise entsprechend seinem Bewegungsfreiheitsgrad entlang einer komplizierten räumlichen Bahn zwangsgeführt werden. **[0013]** Die Bewegungsübertragung kann ebenfalls vom Ausgangsabschnitt der Bewegungsübertragungsvorrichtung zu den jeweiligen Eingangsabschnitten der Übertragungseinheiten erfolgen, was besonders vorteilhaft für die nachfolgend beschriebenen Meßvorrichtungen ist.

**[0014]** Unter den einzelnen Abschnitten einer Übertragungseinheit werden bei einer entsprechenden Miniaturisierung der Bewegungsübertragungsvorrichtung auch nur solche Übergangsabschnitte verstanden, welche die beiden Gelenkmittel miteinander koppeln. Bei entsprechender Ausbildung dieser beiden Gelenkmittel können die Grenzen zwischen dem Gelenkmittel und den einzelnen Abschnitten somit ineinander überfließen. Hierin liegt gerade der Vorteil der Erfindung, da bei einer Ausbildung der Gelenkmittel als Biegegeelenke eine solche Miniaturisierung spielend möglich ist. Es müssen beispielsweise lediglich die Materialstärken entsprechend dimensioniert werden, um die einzelnen Biegegeelenke auszubilden.

**[0015]** Bevorzugt umfaßt die Bewegungsübertragungsvorrichtung drei Übertragungseinheiten zum Übertragen von drei eingangsseitigen Bewegungskomponenten mit jeweils einem translatorischen Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige Bewegung mit drei translatorischen Bewegungsfreiheitsgraden. Hiermit ist eine von der Geometrie gesehen einfach anzusteuern Bewegungsübertragungsvorrichtung geschaffen, welche die räumliche Bewegung ihres Ausgangs in drei Dimensionen ermöglicht. Die drei Bewegungsfreiheitsgrade der eingangsseitigen Bewegungen müssen dabei nicht orthogonal zueinander ausgerichtet sein.

**[0016]** Zum weiteren Erhöhen der Präzision sind die einzelnen Übertragungseinheiten bevorzugt einstückig ausgebildet. Mit anderen Worten werden im wesentlichen alle Abschnitte samt Biegegeelenke einer Übertragungseinheit aus einem Stück gefertigt. Abhängig von den unterschiedlichen Präzisionsanforderungen, können einzelne Übertragungseinheiten einer Bewegungsübertragungsvorrichtung einstückig oder mehrstückig ausgebildet sein.

**[0017]** Bevorzugt ist das erste Gelenkmittel und/oder das zweite Gelenkmittel nach Art eines Parallelogramm-Schwenkgelenks ausgebildet, wobei das Parallelogramm-Schwenkgelenk ein Balkenpaar mit jeweils einem Biegegeelenk an allen vier Balkenenden umfaßt und die beiden Enden jeweils eines Balkens über die entsprechenden Biegegeelenke jeweils mit dem ersten, dem zweiten Abschnitt bzw. dem Ausgangsabschnitt gekoppelt sind. Mit dieser speziellen Ausgestaltung der Gelenkmittel kann die Steifigkeit einer Übertragungseinheit und damit einhergehend die Präzision der gesamten Bewegungsübertragungsvorrichtung weiter erhöht werden.

**[0018]** Bevorzugt sind einzelne oder alle Biegegeelenke als Materialeinkerbungen, insbesondere mit kreisförmiger Geometrie ausgebildet. Mit den verschiedenen Einkerbungsformen kann das so ausgebildete Biegegeelenk vorteilhaft hinsichtlich der Kerbwirkung (insbesondere können so zu große Kerbwirkungen am Rand des Biegegeelenks vermieden werden), der Materialermüdung, der maximalen Biegeauslenkung, etc. optimiert werden. Kreisförmige Einkerbungen zeichnen sich vorteilhaft durch eine hohe Biegeamplitude aus, da die in den externen Schichten des Biegegeelenks auftretenden Zugbeanspruchungen eingeschränkt sind. So ermöglichen beispielsweise kreisförmige Biegegeelenke bei einer vorgegebenen Dicke des Biegegeelenks an seiner dünnsten Stelle und bei Verwendung geeigneter Materialien mit einem hohen elastischen Materialwert eine maximale Biegeauslenkung von bis zu  $\pm 10^\circ$ . Zudem treten bei diesen Biegegeelenken keine Belastungskonzentrationen an den Enden der Biegegeelenke auf, sie haben eine höhere Kompressionssteifigkeit und ein niedrigeres Bruchrisiko.

**[0019]** Bevorzugt sind die zweiten Gelenkmittel als Doppel-Biegegeelenke ausgebildet, wobei ein Doppel-

Biegegeelenk zwei über ein Belastungsverteilungsmittel funktionell seriell miteinander gekoppelte Biegegeelenke umfaßt, die jeweils eine Schwenkbewegung in unterschiedlicher Richtung ermöglichen. Vorteilhaft wird ein solches Doppel-Biegegeelenk bei Bewegungsübertragungsvorrichtungen eingesetzt, welche wenigstens drei Übertragungseinheiten umfaßt, d. h. drei eingangsseitige Bewegungen mit jeweils einem unterschiedlichen Bewegungsfreiheitsgrad in eine entsprechende Ausgangsbewegung übertragen. Die Doppel-Biegegeelenke zeichnen sich hierbei durch ihren einfachen Aufbau aus, der eine Schwenkbewegung mit zwei unterschiedlichen Bewegungsfreiheitsgraden zuläßt.

**[0020]** Für die leichtere Fertigung einer einstückig ausgebildeten Übertragungseinheit sind diese bevorzugt plattenartig ausgebildet.

**[0021]** Bevorzugt ist in jeder Übertragungseinheit eine mechanische Sperre vorgesehen, welche den Bewegungsbereich des zweiten Abschnitts bezüglich des ersten Abschnitts und/oder des zweiten Abschnitts bezüglich des Ausgangsabschnitts entlang des zugehörigen Bewegungsfreiheitsgrads in beiden Richtungen einschränkt. Vorteilhaft verhindern diese mechanischen Sperren, daß die einzelnen Biegegeelenke über ihren maximal zulässigen Biegeauslenkungen hinaus beansprucht werden.

**[0022]** Bevorzugt sind die einzelnen Übertragungseinheiten mittels einer Funkenerosionsbearbeitung, insbesondere einer Draht-Funkenerosionsbearbeitung hergestellt. Dieses spezielle Fertigungsverfahren hat sich insbesondere bei der Ausbildung der einzelnen Biegegeelenke als besonders vorteilhaft erwiesen. Insbesondere beim Schneiden einer Übertragungseinheit aus einem Stück sind hierbei das Verhältnis der Spaltbreite zu Spalttiefe vorteilhaft extrem gering und das Schneiden der Spalten äußerst präzise, was zu einem besseren Schutz der Einkerbungen (Biegegeelenke) mit einer damit einhergehenden geringeren Kerbwirkung führt.

**[0023]** Bevorzugt sind die beiden Biegegeelenke der Doppel-Biegegeelenke unter einem bestimmten Winkel zueinander ausgerichtet und jedes der beiden Biegegeelenke ist bezüglich der Plattenfläche der zugehörigen Übertragungseinheit um einen bestimmten Winkel verdreht. Dies ist insbesondere vorteilhaft im Zusammenhang mit der Fertigung der Biegegeelenke über die Draht-Funkenerosionsbearbeitung. Bei einer solchen Bearbeitung können lediglich Schnitte bis zu einer maximalen Schnittdicke ausgeführt werden. Insofern ist es bei flächenmäßig größer ausgebildeten plattenförmigen Übertragungseinheiten schwierig, Schnitte parallel zur Plattenfläche zu bearbeiten. Mit anderen Worten sind im Prinzip Biegegeelenke, die eine Schwenkung senkrecht zur Plattenebene durchführen, über diese Fertigungsverfahren nur schwierig herstellbar. Vorteilhaft werden bei diesem Ausführungsbeispiel nunmehr die Biegegeelenke so bezüglich der Plattenebene und zueinander verdreht, daß kein Schnitt parallel zur Plattenebe-

ne ausgeführt werden muß.

[0024] Dabei ist es für die Beibehaltung der gewünschten Schwenkbewegungen des Ausgangsabschnitts (z.B. senkrecht zur Plattenebene) vorteilhaft, wenn die Doppel-Biegeelenke bevorzugt so dimensioniert sind, daß sie neben der Schwenkbewegung noch eine Torsionsbewegung zulassen. Eine solche minimale Torsionsbewegung tritt nämlich gerade bei der oben angesprochenen Verdrehung der beiden Biegeelenke bezüglich der Plattenfläche auf, wenn diese beispielsweise senkrecht zur Plattenebene geschwenkt werden sollen.

[0025] Bevorzugt ist die Masse der beweglichen Teile einer Übertragungseinheit gewichtsmäßig minimiert, damit das dynamische Verhalten vorteilhaft optimiert wird. Hierzu kann insbesondere eine Geometrieoptimierung (z. B. über eine Finite-Elemente-Berechnung) und die Wahl des geeigneten Materials beitragen. Insgesamt würde damit bei der Fertigung kein nennenswerter Mehraufwand entstehen, das dynamische Verhalten könnte indessen nochmals erheblich verbessert werden.

[0026] Bevorzugt ist die Bewegungsübertragungsvorrichtung aus einer Titan-Legierung, aus Stahl, aus Edelstahl, aus Aluminium, einer Aluminiumlegierung, einer Titan-Neckel-Legierung, aus Kupfer, einer Kupfer-Legierung, einer Keramik oder einem Kunststoff hergestellt ist. Die Titan-Legierung oder die Keramik begünstigen aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer Steifigkeit insbesondere das dynamische Verhalten und die Präzision der Bewegungsübertragungsvorrichtung. Mit dem Kunststoff können insbesondere kostengünstige Einheiten (beispielsweise in hoher Stückzahl über ein Spritzgußverfahren) gefertigt werden. Kupfer und Kupferlegierungen weisen insbesondere hinsichtlich ihrer Biegefähigkeit eine hohe elastische Grenze auf. Ferner sind sie ebenso wie die Metalle bzw. Metallegierungen aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit besonders gut für eine Fertigung über das elektroerosive Verfahren geeignet.

[0027] Die Erfindung schafft ferner eine Positionier-  
vorrichtung, die eine erfindungsgemäße Bewegungs-  
übertragungsvorrichtung umfaßt, bei welcher jede  
Übertragungseinheit über ihren Eingangsabschnitt mit  
einem Antriebsmittel zum Antreiben dieses Eingangs-  
abschnittes in Richtung des zugehörigen Bewegungs-  
freiheitsgrades gekoppelt ist.

[0028] Bevorzugt ist das Antriebsmittel ein elektroma-  
gnetischer Aktuator, ein piezoelektrischer Aktuator oder  
ein anderer elektromotorischer Präzisionsantrieb zur  
Erzeugung einer linearen Bewegung, insbesondere ge-  
koppelt mit einem Positionsmeßmittel. Diese speziellen  
Antriebsmittel zeichnen sich insbesondere durch ihren  
einfachen Aufbau und ihre hohe Präzision aus. Als be-  
sonders geeignet haben sich kontaktlose Antriebsmit-  
tel, wie die sog. Voice-Coil-Aktuatoren herausgestellt.  
Für weitere Details bezüglich dieser Voice-Coil-Aktua-  
toren wird auf die einschlägige Literatur verwiesen, de-

ren Offenbarung hiermit durch Bezugnahme in die vor-  
liegende Beschreibung mit aufgenommen ist.

[0029] Bevorzugt ist die Positioniervorrichtung als  
Feinpositioniervorrichtung ausgebildet und/oder über  
die ersten Abschnitte jeder Übertragungseinheit mit ei-  
ner Makropositioniervorrichtung funktionell seriell ge-  
koppelt. Dank dieser Kopplung sind vorteilhaft große  
Verfahrbereiche mit einer hohen Positionierauflösung  
verfügbar. So läßt sich beispielsweise die eingestellte  
räumliche Position über geeignete Meßmittel sehr ge-  
nau ermitteln und anschließend über die Feinpositio-  
niervorrichtung entsprechend mikrometergenau korri-  
gieren.

[0030] Bevorzugt werden die Antriebsmittel von ei-  
nem Steuerungsmittel mit Korrekturalgorithmus gesteu-  
ert, wobei der Korrekturalgorithmus derart ausgestaltet  
ist, daß bei Antreiben des Ausgangs der Bewegungs-  
übertragungsvorrichtung entlang einer bestimmten  
Richtung die aufgrund der Biegeelenke hervorgerufe-  
ne (n) zwangsgekoppelte (n) Translationsbewegung  
(en) durch entsprechendes Antreiben einer oder mehr-  
erer anderer Antriebsmittel kompensiert wird bzw. wer-  
den. Bei einer bevorzugten Bewegungsart der Biegege-  
lenke, der Schwenkbewegung, findet prinzipiell eine  
Rotation des angelenkten Teils um eine Rotationsachse  
statt. Dies gilt auch für die bevorzugten Parallelgramm-  
Schwenkgelenke, bei denen die Rotation zwar unter-  
drückt ist, weiterhin aber eine zwangsgekoppelte Bewe-  
gungskomponente der Eingangsbewegung orthogonal  
zur Hauptbewegungskomponente auftritt. Abhängig  
von der Geometrie des angelenkten Teils resultiert also  
stets eine Bewegung des angelenkten Teils in zwei zu-  
einander orthogonale Richtungen. Eine dieser beiden  
"unerwünschten" Bewegungskomponenten kann nun-  
mehr durch eine entsprechende Bewegung einer oder  
mehrerer anderer Übertragungseinheiten kompensiert  
werden, die gerade eine Antriebsbewegung ausführen  
können, welche zumindest eine Bewegungskomponente  
in diese "unerwünschte" Bewegungskomponente  
hat.

[0031] Bevorzugt ist die Positioniervorrichtung derart  
im Arbeitsraum ausgerichtet, daß bei einer ausgangs-  
seitigen Bewegung der Bewegungsübertragungsvor-  
richtung alleinig entlang der in Schwerkraftrichtung aus-  
gerichteten Z-Richtung alle Antriebsmittel im wesentli-  
chen gleich beansprucht sind. Dies kann beispielsweise  
dadurch erzielt werden, daß bei drei Übertragungsein-  
heiten alle drei Antriebsrichtungen dieser Übertra-  
gungseinheiten die letzteren unter dem selben Winkel  
zur Z-Richtung antreiben. Vorteilhaft können dabei alle  
Antriebsmittel leistungsmäßig gleich stark ausgebildet  
sein, d. h. es muß kein Antriebsmittel entsprechend der  
höheren Belastung entlang der Schwerkraftrichtung  
stärker dimensioniert werden.

[0032] In einem alternativen bevorzugten Ausführ-  
ungsbeispiel ist die Positioniervorrichtung in diesem  
Fall jedoch gerade derart im Arbeitsraum ausgerichtet,  
daß hierbei lediglich ein Antriebsmittel beansprucht ist.



Bevorzugt wird das Antriebsmittel für diese Bewegung entlang der Z-Richtung mit einem gegen die Schwerkraft vorgespannten passiven Mittel, insbesondere einem Federmittel funktionell parallel gekoppelt und/oder leistungsmäßig stärker ausgebildet als die übrigen Antriebsmittel.

**[0033]** Gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist ferner eine Meßvorrichtung geschaffen, die eine erfindungsgemäße Bewegungsübertragungsvorrichtung umfaßt, wobei der Eingang der Meßvorrichtung der Ausgang der Bewegungsübertragungsvorrichtung ist, bei der die Eingangsabschnitte jeder Übertragungseinheit mit entsprechenden Meßmitteln gekoppelt sind, die eine Positionsmessung entlang des zugehörigen Bewegungsfreiheitsgrads des entsprechenden Eingangsabschnittes ermöglichen. Vorteilhaft wird hiermit insbesondere ein sehr präzises ausmeßbares Meßvolumen beispielsweise in der Größenordnung von einigen mm<sup>3</sup> geschaffen. Diese Meßvorrichtung kann beispielsweise vorteilhaft als Meßkopf für eine Koordinaten-Meßmaschine eingesetzt werden.

**[0034]** Die Erfindung betrifft ferner die Verwendung einer solchen Positionier- oder Meßvorrichtung auf dem Gebiet der Werkstückbearbeitung, Funkenerosionsbearbeitung, der elektrochemischen Bearbeitung, der Halbleiterfertigung, der Fertigung von opto-elektronischen Verbindungselementen und Mikrosystemen, der Robotik, als Kraftmesser und/oder Joystick mit Kraftrückführung. Weitere Anwendungsgebiete finden sich beispielsweise in der Medizin (bei Operationen), in der Chemie, bei der Meßmaschinenbedienung, usw. Im Prinzip kann jedes technologische Gebiet Vorteile aus der Erfindung ziehen, bei welchem Fein- bzw. Mikroeingstellungen erforderlich sind, z. B. Werkstücksbearbeitungen, insbesondere Mikroerosionen, Maskenjustierungen bei der Halbleiterproduktion, Justierungen bei der Kontakttherstellung (Bonding) von Chips, etc.

**[0035]** Nach Anspruch 25 sind bei einer gattungsgemäßen zweiten Bewegungsübertragungsvorrichtung die Biegeelenke nach Art von Parallelogramm-Schwenkgelenken ausgebildet, wobei jedes Parallelogramm-Schwenkgelenk ein Balkenpaar mit jeweils einem Biegeelenk an allen vier Balkenenden umfaßt und die beiden Enden jeweils eines Balkens über die entsprechenden Biegeelenke jeweils mit dem Eingangsabschnitt und dem Ausgangsabschnitt gekoppelt sind. Hiermit wird die Steifigkeit einer Übertragungseinheit und damit einhergehend die Präzision der gesamten Bewegungsübertragungsvorrichtung vorteilhaft erhöht. Vorteilhaft hat die ausgangsseitige Bewegung dabei eine Bewegungskomponente entlang eines der drei Bewegungsfreiheitsgraden, deren Verfahrensweg gegenüber den Verfahrenswegen der Bewegungskomponenten der beiden anderen Bewegungsfreiheitsgraden größer ist.

**[0036]** Bevorzugt sind die Eingangsabschnitte der Übertragungseinheiten derart ausgebildet, daß die jeweiligen eingangsseitigen Bewegungen parallel zueinander eingeleitet werden. Hiermit wird der Unterschied

in den Verfahrenswegen der einzelnen Bewegungskomponenten noch einmal verstärkt.

**[0037]** Die Übertragungseinheiten der zweiten Bewegungsübertragungsvorrichtung können dabei bevorzugt ähnlich (siehe oben erwähnte bevorzugte Ausführungsbeispiele) den Übertragungseinheiten der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung ausgestaltet sein, mit der einzigen Ausnahme, daß hier deren erster Abschnitt sowie die Anlenkung des zweiten Abschnitts über entsprechende erste Biegeelenke an dem ersten Abschnitt fehlen.

**[0038]** Die Erfindung schafft ferner eine Positionierungsvorrichtung mit der erfindungsgemäßen zweiten Bewegungsübertragungsvorrichtung, bei welcher jede Übertragungseinheit über ihren Eingangsabschnitt mit einem Antriebsmittel zum Antreiben dieses Eingangsabschnitts entlang des zugehörigen eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrads gekoppelt ist. Die Antriebsmittel sind dabei bevorzugt zusammen mit den zugehörigen Eingangsabschnitten nach Art von Linearmotoren ausgebildet.

**[0039]** Nachfolgend wird die Erfindung sowie weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1a, b jeweils eine Aufsicht und Seitenansicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer Übertragungseinheit der erfindungsgemäßen ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung,

Fig. 1c, d die gleichen Darstellungen wie die Figuren 1a und b, wobei in diesen Figuren die Schwenkbewegungen der Übertragungseinheit explizit dargestellt sind,

Fig. 2 eine Aufsicht auf ein zweites Ausführungsbeispiel einer Übertragungseinheit der ersten erfindungsgemäßen Bewegungsübertragungsvorrichtung, wobei bei der Übertragungseinheit die Doppel-Biegeelenke gegenüber der Plattenebene verdreht sind, sowie eine Detailansicht eines solchen Doppel-Biegeelenks,

Fig. 2a, b jeweils eine Schnittansicht durch die beiden Biegeelenke des in Fig. 2 gezeigten Doppel-Biegeelenks entlang der Schnitte A-A und B-B der Detailansicht in Figur 2,

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels einer Übertragungseinheit der ersten erfindungsgemäßen Bewegungsübertragungsvorrichtung, wobei bei dieser Übertra-

- gungseinheit zusätzlich noch mechanische Sperren vorgesehen sind,
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht dreier miteinander gekoppelter Übertragungseinheiten, welche zusammen ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Positioniervorrichtung bilden,
- Fig. 5 eine perspektivische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Positioniervorrichtung, welche ebenfalls aus drei Übertragungseinheiten zusammengesetzt ist,
- Fig. 6 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Antriebsmittels für die Übertragungseinheiten der erfindungsgemäßen Positioniervorrichtung,
- Fig. 7 zwei detaillierte perspektivische Darstellungen eines kreisförmigen Biegegelenkes, wobei pro Darstellung unterschiedliche Parameter dieses Biegegelenkes angegeben sind, und
- Fig. 8 eine perspektivische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Positioniervorrichtung mit der zweiten erfindungsgemäßen Bewegungsübertragungsvorrichtung.

[0040] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile.

[0041] In den Fig. 1a und b ist jeweils eine Aufsicht und eine Seitenansicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer Übertragungseinheit 2 einer erfindungsgemäßen ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung gezeigt. Die Figuren sowie 1c und d zeigen dasselbe Ausführungsbeispiel wie die Figuren 1a und 1b, wobei dort zusätzlich die Schwenkbewegungen der Übertragungseinheit 2 dargestellt sind. Die Übertragungseinheit 2 setzt sich aus einem ersten Abschnitt 4, einem zweiten Abschnitt 6 und einem Ausgangsabschnitt 8 zusammen. Der erste Abschnitt 4 ist als rechteckige Platte mit vier Seitenflächen 10, 12, 14 und 16 ausgebildet. Die beiden gegenüberliegenden Seitenflächen 12 und 16 weisen an den Eckbereichen zu den Seitenfläche 10 jeweils einen Vorsprung 18 und 20 auf.

[0042] Der erste Abschnitt 4 kann auch nur als Balken ausgebildet sein, dessen beide Enden die Vorsprünge 18 und 20 bilden. Die plattenförmige Alternative wird aus Stabilitätsgründen und aufgrund der Tatsache bevorzugt, daß der erste Abschnitt 4 bezüglich einer unbeweglichen Basis der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung festgelegt wird und daher für die bewegliche Masse jeder Übertragungseinheit 2 keine Rolle spielt. Anstelle des balkenförmig ausgebildeten er-

sten Abschnitts 4 kann dieser in einer dritten Alternative auch nur in Form zweier separat vorliegender Vorsprünge 18 und 20 ausgebildet sein, die einzeln an einer unbeweglichen Basis der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung festgelegt werden können.

[0043] In Erstreckungsrichtung der Seitenflächen 12 und 16 ist jeweils ein Balken 22 und 24 angeordnet. Der Balken 22 verläuft dabei benachbart zur Seitenfläche 12, während der Balken 24 benachbart zur Seitenfläche 16 verläuft. Die Balken 22 und 24 sind über jeweilige Biegegelenke 26 und 28 mit den entsprechenden Vorsprüngen 18 und 20 gekoppelt. Die Biegegelenke gestatten den Balken 22 und 24 jeweils eine Schwenkbewegung von rechts nach links in dem in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiel.

[0044] Der zweite Abschnitt 6 weist einen ersten 30 und einen zweiten 32 Schenkelabschnitt auf, die einstückig in Form eines rechtwinkligen Winkels miteinander gekoppelt sind. Der winkelförmige zweite Abschnitt 6 ist dabei so zu dem ersten Abschnitt 4 angeordnet, daß der erste Abschnitt 4 samt der Balken 22 und 24 innerhalb des von dem Winkel aufgespannten Bereiches liegt. An der diesem Leerbereich zugewandten Innenseite des ersten Schenkelabschnittes 30 sind die Balken 22 und 24 über weitere Biegegelenke 34 und 36 mit dem ersten Schenkelabschnitt gekoppelt. Genauer gesagt, ist die eine Stirnseite des Balkens 22 über das Biegegelenk 34 im Stirnbereich des ersten Schenkelabschnittes 30 mit dessen inneren Seitenfläche gekoppelt. Somit ist der Balken 22 senkrecht zu dem ersten Schenkelabschnitt 30 angeordnet. Der Balken 24 ist über seine eine Stirnseite mittels des Biegegelenkes 36 im Bereich der Schenkelbasis des Schenkelabschnittes 30 mit dessen Innenseite gekoppelt. Auch der Balken 22 ist senkrecht zu dem ersten Schenkelabschnitt 30 angeordnet.

[0045] Insgesamt bilden diese aus den Vorsprüngen 18 und 20, den beiden Balken 22 und 24, den vier Biegegelenken 18, 20, 34 und 36 und dem ersten Schenkelabschnitt 36 bestehende Anordnung ein Parallelogramm-Schwenkgelenk, das in dem in Fig. 1a dargestellten Ausführungsbeispiel von links nach rechts schwenkbar ist (siehe hierzu auch Fig. 1c). Bei festgelegtem ersten Abschnitt 4 schwenken die beiden Balken 22 und 24 dabei jeweils um ihre zugehörigen Biegegelenke 26 und 28 in Form einer Pendelbewegung, während der erste Schenkelabschnitt 30 eine translatorische Bewegung von links nach rechts und umgekehrt ausführt (in dem in den Fig. 1a und c dargestellten Ausführungsbeispiel). Aufgrund der Ausbildung dieses Parallelogramm-Schwenkgelenks ist der Translationsbewegung von rechts nach links eine zwangsgekoppelte Translationsbewegung des zweiten Abschnittes 6 von oben nach unten und umgekehrt überlagert. Diese ggf. unerwünschte überlagerte Translationsbewegung kann bei entsprechender Kombination mehrerer Übertragungseinheiten 2 ggf. kompensiert werden (siehe weiter unten).

**[0046]** Der zweite Schenkelabschnitt 32 des zweiten Abschnittes 6 weist an seinen beiden Enden jeweils einen einstückig verbundenen Vorsprung 42 und 44 auf. An den Vorsprüngen 42 und 44 sind jeweils ein Balken 46 und 48 über ein entsprechendes Doppel-Biegege-  
lenk 50 und 52 angelenkt. Der Balken 46 verläuft dabei der Seitenfläche 10 des ersten Abschnittes 4 gegen-  
überliegend, während der Balken 48 der Außenseite des ersten Schenkelabschnittes 30 des zweiten Ab-  
schnittes 6 gegenüberliegend verläuft. Insgesamt um-  
greifen somit die beiden Balken 22 und 24 den ersten  
Abschnitt 4, während die beiden Balken 46 und 48 den  
ersten Abschnitt 4 und den ersten Schenkelabschnitt 30  
umgreifen. Ferner sind die beiden Balken 46 und 48 or-  
thogonal zu den beiden Balken 22 und 24 ausgerichtet.

**[0047]** Das Doppel-Biegegeelenk 50 umfaßt in dem in den Fig. 1a-d gezeigten Ausführungsbeispiel ein erstes 54 und zweites 56 Biegegeelenk, die orthogonal zueinander ausgerichtet sind. Das erste Biegegeelenk 54 ge-  
staltet den Balken 46 und 48 eine Schwenkbewegung in dem in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiel von  
oben nach unten und umgekehrt. Das zweite Biegege-  
lenk 56 der Doppel-Biegegeelenke 50 und 52 ermöglicht den Balken 46 und 48 eine Schwenkbewegung des in  
Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiels aus der Zeichenebene heraus (siehe hierzu auch Fig. 1b und d).

**[0048]** Die Balken 46 und 48 sind mit ihren beiden anderen Enden jeweils über ein erstes und ein zweites Doppel-Biegegeelenk 58 und 60 mit dem Ausgangsabschnitt 8 gekoppelt. Hierbei sind die Doppel-Biegege-  
lenke 58 und 60 jeweils im Stirnbereich des Ausgangs-  
abschnittes 8 an eine Längsseite des Ausgangsabschnittes 8 gekoppelt. Somit stehen die Balken 46 und 48 senkrecht auf dieser Längsseite des Ausgangsabschnittes 8. Beide Doppel-Biegegeelenke 58 und 60 set-  
zen sich ebenfalls jeweils aus dem ersten Biegegeelenk 54 und dem zweiten Biegegeelenk 56 zusammen.

**[0049]** Insgesamt ist in jedem der Doppel-Biegegeelenk 50, 52, 58 und 60 das erste Biegegeelenk 54 über einen Belastungsverteilungsabschnitt 62 funktionell seriell mit dem zweiten Biegegeelenk 56 gekoppelt. Der Belastungsverteilungsabschnitt 62 ist hierbei ein in seiner Länge kurzer balkenförmiger Abschnitt, dessen Querschnitt hier dem Balken 46 angepaßt ist (der Querschnitt kann beliebig gewählt sein, insbesondere den Belastungskräften angepaßt). Seine Länge sollte mindestens so lang sein, daß keine Kerbbeanspruchung an den Übergängen zu den beiden Biegegeelenken auftreten, aber so kurz, daß die beiden Gelenke möglichst nah beieinander liegen.

**[0050]** Die Doppel-Biegegeelenke 50, 52, 58 und 60 sind in ihrer Längsrichtung so dimensioniert, daß sie der Breite des Balkens 22 bzw. 24 entsprechen. Die Doppel-Biegegeelenke 58 und 60 sind ferner so angeordnet, daß das den Balken 46 bzw. 48 zugewandte Ende des ersten Biegegeelenks 54 mit der der Seitenfläche 12 des ersten Abschnittes 4 zugewandten Außenseite des Balkens 22 fluchtet, während das dem Ausgangsabschnitt

8 zugewandte Ende des zweiten Biegegeelenks 56 mit der dem Ausgangsabschnitt 8 zugewandten Außenseite des Balkens 22 fluchtet. Die Biegegeelenke 34 und 36 sind hingegen so angeordnet, daß ihr Zentrum (d.h. ihr dünnster Steg) mit der Seitenfläche 14 des ersten Abschnittes 4 fluchtet. Die Doppel-Biegegeelenke 50 und 52 wiederum sind so angeordnet, daß die den beiden Balken 46 bzw. 48 zugewandten Enden der zweiten Biegegeelenke 56 mit der dem Balken 24 zugewandten Außenseite des zweiten Schenkelabschnittes 32 des zweiten Abschnittes 6 fluchten.

**[0051]** Der zweite Schenkelabschnitt 32 des zweiten Abschnittes 6, der Ausgangsabschnitt 8 und die beiden Balken 46 und 48 bilden somit ein zweites Parallelogramm-Schwenkgelenk, das dem Ausgangsabschnitt 8 in dem in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiel eine Schwenkbewegung sowohl von oben nach unten und umgekehrt wie auch aus der Zeichenebene heraus ermöglicht. Wiederum sind diesen beiden orthogonal zueinander ausgerichteten, translatorischen Bewegungen jeweils orthogonal zu diesen ausgerichtete Translationsbewegungen zwangsgekoppelt überlagert. Bei einer "translatorischen" Bewegung des Ausgangsabschnittes 8 von oben nach unten ist eine "translatorische" Bewegung von links nach rechts und bei einer "translatorischen" Bewegung des Ausgangsabschnittes 8 aus der Zeichenebene heraus ebenfalls eine "translatorische" Bewegung von rechts nach links überlagert.

**[0052]** Fig. 2 zeigt eine Aufsicht auf ein zweites Ausführungsbeispiel einer Übertragungseinheit 2 (erste Bewegungsübertragungsvorrichtung), bei welcher die Doppel-Biegegeelenke 50, 52, 58 und 60 mittels zweier Biegegeelenke 54 und 56 ausgebildet sind, die mit einem Winkel von etwa 60° zueinander sowie mit einem Winkel von etwa jeweils 30° gegenüber der Plattenebene der Übertragungseinheit 2 verdreht sind. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Übertragungseinheit 2 mittels der Draht-Funkenerosionsbearbeitung aus einem einzelnen plattenförmigen Material (z. B. einer Titan-Legierung) hergestellt wird. Bei dieser Bearbeitungsmethode sind nämlich in der Plattenebene liegende Bearbeitungsschnitte nur durch Umspannen des Werkstückes bzw. durch zusätzliches Drehen des Werkstückes auf dem Bearbeitungstisch möglich, wenn die plattenmäßige Ausdehnung der Übertragungseinheit 2 die maximal zulässige Schnittdicke bei dieser Bearbeitung nicht überschreitet.

**[0053]** Die in den Fig. 2, 2a und 2b dargestellten Doppel-Biegegeelenke 50, 52, 58 und 60 ermöglichen nunmehr aber eine Fertigung ohne diese problematischen plattenparallelen Schnitte, da ihr Biegegeelenk 56 aus der Plattenebene heraus gedreht ist. Dabei kann der Ausgangsabschnitt 8 weiterhin die gleichen Schwenkbewegungen bezüglich des zweiten Abschnittes 6 ausführen. Dies wird dadurch ermöglicht, daß die Doppel-Biegegeelenke 50, 52, 58 und 60 so dimensioniert sind, daß sie neben ihrer vorgesehenen Schwenkbewegung noch eine Torsionsbewegung zulassen. Das bedeutet,

daß das zweite Biegegelenk 56 eine Torsionsbewegung des Balken 46 bezüglich des Belastungsverteilungsabschnittes 62 und das erste Biegegelenk 54 eine Torsionsbewegung des Belastungsverteilungsabschnittes 62 bezüglich des Vorsprungs 42 ermöglicht. Insgesamt kann der Balken 46 bei einer Schwenkbewegung des Ausgangsabschnittes 8 von oben nach unten oder umgekehrt bzw. aus der Zeichenebene heraus eine Torsionsbewegung durchführen, die aufgrund der Verdrehung des ersten und des zweiten Biegegelenks 54 und 56 bei der Schwenkbewegung zwangsgekoppelt hervorgerufen wird.

**[0054]** Bei der in Fig. 3 gezeigten perspektivischen Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels der Übertragungseinheit 2 (erste Bewegungsübertragungsvorrichtung) ist zum Einschränken des Schwenkbereiches des zweiten Abschnitts 6 bezüglich des ersten Abschnitts 4 an der Seitenfläche 14 des ersten Abschnitts 4 eine Ausnehmung 38 vorgesehen. In diese Ausnehmung 38 greift eine an der Innenseite des ersten Schenkelabschnittes 30 angeordnete Nase 40 ein. Die Ausnehmung 38 und die Nase 40 sind dabei so dimensioniert, daß der erste Schenkelabschnitt 30 ausgehend von seiner Ruhestellung jeweils eine bestimmte maximale Auslenkung nach links und rechts ausführen kann. Diese maximale Auslenkung kann durch den maximal zulässigen Biegewinkel der Biegegelenke 26, 28, 34 und 36 vorgegeben sein.

**[0055]** Weiterhin ist in dem Ausgangsabschnitt 8 eine weitere Ausnehmung 64 zur Aufnahme einer Verlängerung 66 des Vorsprungs 18 des ersten Abschnitts 4 vorgesehen. Die Ausnehmung 64 und die Verlängerung 66 arbeiten wie die Ausnehmung 38 und die Nase 40 als eine mechanische Sperre, welche die Schwenkbewegung des Ausgangsabschnittes 8 in dem in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiel von oben nach unten beschränkt. Eine weitere, nicht dargestellte mechanische Sperre zum Einschränken des Schwenkbereiches aus der Zeichenebene heraus kann dadurch vorgesehen werden, daß an der in Fig. 3 gezeigten Verlängerung 66 jeweils an deren Ober- und Unterseite eine Auskrantung vorgesehen ist, welche eine Schwenkbewegung des Ausgangsabschnittes 8 aus der Zeichenebene heraus einschränkt.

**[0056]** In dem in Fig. 3 dargestellten dritten Ausführungsbeispiel (erste Bewegungsübertragungsvorrichtung) ist zwecks Gewichtsverminderung der beweglichen Teile, der zweite Schenkelabschnitt 32 des zweiten Abschnitts 6 mit einem großen sich nach außen öffnenden Einschnitt 68 ausgebildet. Insgesamt hat der zweite Schenkelabschnitt 32 nunmehr nur noch in Form eines schlanken Balkens mit zwei an den Balkenenden seitlich versetzt angebrachten Vorsprüngen 42 und 44.

**[0057]** In Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung 70 gezeigt, die sich aus drei jeweils über ihre Ausgangsabschnitte 8 miteinander gekoppelten Übertragungseinheiten 2 zu-

sammensetzt. Diese drei Übertragungseinheiten 2 sind in dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel einer ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung 70 zwar nicht bezüglich ihrer plattenförmigen Ausdehnung orthogonal zueinander ausgerichtet, ermöglichen jedoch aufgrund ihrer Anordnung eine gekoppelte Bewegung der miteinander verbundenen Ausgangsabschnitte 8 mit drei translatorischen Bewegungsfreiheitsgraden.

**[0058]** Für ein Positionieren der miteinander gekoppelten Ausgangsabschnitte 8 sind die zweiten Abschnitte 6 der drei Übertragungseinheiten 2 jeweils über deren zweite Schenkelabschnitte 32 mit einem Antriebsmittel 72 gekoppelt. Die Antriebsmittel 72 sind als elektromechanischer Aktuator ausgebildet, der mit Bezug auf Fig. 6 näher erläutert wird. Insgesamt sind die Antriebsmittel 72 jeweils entlang ihrer Antriebsrichtung so bemessen, daß sie in die Einschnitte 68 der zweiten Schenkelabschnitte 32 passen. Hierzu ist die Innenseite des Einschnitts 68 mit dem beweglichen, angetriebenen Teil 74 des Antriebsmittels 72 starr verbunden, während der unbewegliche, antreibende Teil 76 der Antriebsmittel 72 mit der im Arbeitsraum festen Basis (In Figur 3 nicht dargestellt) der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung 70 starr verbunden ist. Mit dieser festen Basis der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung 70 sind jeweils auch die ersten Abschnitte 4 der drei Übertragungseinheiten 2 starr verbunden.

**[0059]** Das gezeigte Antriebsmittel 72 läßt vorteilhaft eine geringe Bewegung seines angetriebenen Teils 74 orthogonal zu seiner Antriebsrichtung zu (wenn beide Teile 74 und 76 entsprechend ausgebildet sind, siehe Figur 6). Dies ist vorteilhaft, da der Abschnitt 6 bei seiner Bewegung in Antriebsrichtung stets auch eine zwangsgekoppelte Bewegung senkrecht zur Antriebsrichtung durchführt. Bei einem als Spindeltrieb ausgebildeten Antriebsmittel 72 müßte der "feste" Teil beispielsweise über ein Schwenkgelenk (Biegegelenk) mit der Basis fest verbunden sein, damit seine Spindel nicht verkan-

**[0060]** Insgesamt führt also jede Übertragungseinheit 2 eine angetriebene Bewegung ihres Ausgangsabschnitts 8 entlang der Antriebsrichtung ihres zugehörigen Antriebsmittels 72 aus, wobei jede Übertragungseinheit 2 entlang dieser Antriebsrichtung eine steife Einheit bildet. Diese Antriebsbewegung führt jede Übertragungseinheit 2 über ihr erstes Parallelogramm-Schwenkgelenk, bestehend aus den Biegegelenken 26, 28, 34 und 36 aus. Senkrecht zu dieser Antriebsrichtung (oder unter einem beliebigen Winkel hierzu) läßt jede Übertragungseinheit 2 über ihr zweites Parallelogramm-Schwenkgelenk, bestehend aus den Doppel-Biegegelenken 50, 52, 58 und 60, eine translatorische Bewegung (genauer gesagt eine Schwenkbewegung ohne Rotation des Ausgangsabschnitts 8) in Antriebsrichtung der beiden anderen Übertragungseinheiten 2 zu.

**[0061]** Aufgrund der in Fig. 4 gezeigten, besonderen Anordnung der Übertragungseinheiten 2 führt jede

Übertragungseinheit 2, wenn nur sie allein, nicht jedoch die beiden anderen Übertragungseinheiten 2 angetrieben werden, neben der "Schwenkbewegung" des ersten Parallelogramm-Schwenkgelenks (entlang der Antriebsrichtung) auch eine damit zwangsgekoppelte "Schwenkbewegung" über das zweite Parallelogramm-Schwenkgelenk aus (und zwar indem lediglich über die zweiten Biegeelenke 56 des zweiten Parallelogramm-Schwenkgelenkes "geschwenkt" wird). Das erste Parallelogramm-Schwenkgelenk hat nämlich gerade auch die oben erwähnte zwangsgekoppelte translatorische Querbewegung senkrecht zu der angetriebenen translatorischen Bewegung. Diese zwangsgekoppelte Querbewegung wird bei einem in dieser Richtung der Querbewegung nicht nachgiebigen Ausgangsabschnitt 8 (die Antriebsmittel 72 der beiden anderen Übertragungseinheiten 2 blockieren in Richtung dieser Querbewegung) von dem zweiten Parallelogramm-Schwenkgelenk aufgenommen.

**[0062]** Wie aus der obigen Anordnung der einzelnen Übertragungseinheiten 2 ersichtlich wird, können diese unter beliebigen Winkeln zueinander ausgerichtet sein. Dabei kann eine dieser Übertragungseinheiten 2 auch ohne Antriebsmittel 72 ausgebildet sein und beispielsweise nur als Stabilisator für die Bewegung des gemeinsamen Ausgangsabschnitts 8 dienen.

**[0063]** Fig. 5 zeigt eine perspektivische Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Positioniervorrichtung 80 mit einer ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung, die aus drei orthogonal zueinander angeordneten Übertragungseinheiten 2 zusammengesetzt ist. Diese drei Übertragungseinheiten 2 sind jeweils über ihre Ausgangsabschnitte 8 mit einem dreidimensionalen Winkel 82 über Befestigungsschrauben 78 starr verbunden, der eine Positionierspitze 84 trägt. Die Übertragungseinheiten 2 wiederum sind über ihre ersten Abschnitte 4 mittels Befestigungsschrauben 86 mit einer im Arbeitsraum festen Basis 88 starr verbunden. Die feste Basis 88 kann dabei die Form eines hohlen Quaders haben, in dem die erforderlichen Antriebsmittel 72 der Übertragungseinheiten 2 sowie deren nicht dargestellte Steuerungsmittel und Positionsmeßmittel angeordnet sind. Die Übertragungseinheiten 2 sind derart bezüglich der Außenkanten der festen Basis 88 angeordnet, daß die einzelnen "Schwenkbewegungen" nicht durch ein eventuell im Wege stehendes Material behindert werden. Gleiches gilt für die Befestigung des dreidimensionalen Winkels 82 an den Ausgangsabschnitten 8.

**[0064]** Bei einem Antrieb der in Fig. 5 rechts liegenden Übertragungseinheit 2 in negativer Y-Richtung überlagert beispielsweise die in Fig. 5 links liegende Übertragungseinheit 2 der Positionierspitze 84 durch eine entsprechende "Schwenkbewegung" ihres Ausgangsabschnitts 8 eine Bewegungskomponente in negativer Z-Richtung (diese Bewegungskomponente wird ebenfalls durch das erste Parallelogramm-Schwenkgelenk der links liegenden, antreibenden Übertragungseinheit 2 hervorgerufen). Diese Bewegungskomponen-

te in negativer Z-Richtung kann durch einen entsprechenden Antrieb der in Fig. 5 links liegenden Übertragungseinheit 2 in positive Z-Richtung kompensiert werden. Ähnliches gilt für den Antrieb der Positionierspitze 84 in X- und in Z-Richtung, bei der eine entsprechende Kompensationsbewegung der beiden anderen Übertragungseinheiten 2 erforderlich ist.

**[0065]** Diese Kompensationsbewegung kann von einem nicht dargestellten Steuerungsmittel mit einem integrierten Korrekturalgorithmus gesteuert werden. Der Korrekturalgorithmus kann dabei die einzelnen Zwangskopplungen in Form einer 3x3-Korrekturmatrix speichern, welche mit dem die gewünschte räumliche Bewegung der Positionierspitze 84 darstellenden dreidimensionalen Bewegungsvektor multipliziert wird und als Ergebnis die jeweilige anzutreibende Bewegungskomponente jeder Übertragungseinheit 2 angibt. Diese 3x3-Korrekturmatrix kann dabei entweder rechnerisch aus der Geometrie der gesamten Anordnung oder mittels maximal neun Messungen der räumlichen Anordnung der Positionierspitze 84 bei unterschiedlichen Stellungen der drei Antriebsmittel 72 der drei Übertragungseinheiten 2 ermittelt werden.

**[0066]** Die feste Basis 88 kann wiederum mit einer nicht dargestellten Makropositioniervorrichtung gekoppelt sein, so daß insgesamt der Verfahrensweg der Positionierspitze 84 vergrößert wird. Bei entsprechender Ausbildung der Übertragungseinheiten 2 und der Positioniervorrichtung 80 führt die Positionierspitze 84 nämlich lediglich Bewegungen im Millimeterbereich aus, was insbesondere durch die zulässigen Schwenkbewegungen der Biegeelenke (ungefähr  $\pm 10^\circ$ ) und die Länge der Balken 22, 24, 46 und 48 bedingt ist.

**[0067]** Die feste Basis 88 kann nunmehr so im Arbeitsraum ausgerichtet sein, daß bei Verfahren der Positionierspitze 84 entlang der Z-Richtung (welche bezüglich der Schwerkraftichtung ausgerichtet ist) entweder nur eine Übertragungseinheit 2 (erste Alternative) oder alle drei Übertragungseinheiten 2 gleichzeitig angetrieben werden müssen (zweite Alternative). Die zweite Alternative hat den Vorteil, daß die Antriebsmittel 72 von allen drei Übertragungseinheiten 2 von ihrer Leistung gleichmäßig stark ausgebildet sein können. Bei der ersten Alternative müßte die Übertragungseinheit 2 für die Bewegung der Positionierspitze 84 in Z-Richtung entweder in der Leistung stärker ausgebildet sein und/oder es müßte ein Federmittel funktionell parallel zwischen den ersten Abschnitt 4 und den zweiten angetriebenen Abschnitt 6 gekoppelt werden, daß eine Vorspannung entgegen der Schwerkraft erzeugt. Bei der zweiten Alternative hingegen müssen für eine alleinige Bewegung entlang der X-, der Y- oder der Z-Richtung immer jeweils alle drei Übertragungseinheiten 2 angetrieben werden. Dies stellt jedoch bei den heutigen Steuerungsmitteln kein Problem dar.

**[0068]** Die Antriebsmittel 72 können jeweils noch mit einer nicht dargestellten Meßeinrichtung gekoppelt sein, welche die relative Lage des zweiten Abschnitts

6 bezüglich des ersten Abschnittes 4 jeder Übertragungseinheit 2 getrennt ermitteln. Dabei ist insbesondere eine besonders genaue Ansteuerung der Positionierspitze 84 möglich. Ferner kann bei einer solchen Ausgestaltung die Positioniervorrichtung 80 als Joystick mit Krafrückführung ausgebildet sein. Der Joystick ist dabei starr mit der Positionierspitze 84 verbunden, so daß eine räumliche Bewegung des Joysticks über die drei nicht dargestellten Meßeinrichtungen der drei Übertragungseinheiten 2 festgestellt werden und über die entsprechenden Antriebsmittel 72 eine Krafrückführung zu dem Joystick erfolgen kann.

[0069] Das erste und das zweite Parallelogramm-Schwenkgelenk können so ausgebildet sein, daß sie anstelle der "Schwenkbewegung" eine Rotationsbewegung jeweils des ersten Schenkelabschnittes 30 bzw. des Ausgangsabschnittes 8 um einen jeweiligen Bezugspunkt zulassen. Dies kann dadurch erfolgen, daß die Balken 22 und 24 bzw. 46 und 48 der beiden Parallelogramm-Schwenkgelenke nicht parallel zueinander sondern trapezartig zueinander ausgerichtet sind. Mit einer entsprechenden Positioniervorrichtung wäre somit eine Rotation der Positionierspitze 84 um die X-, die Y- wie auch die Z-Achse möglich. Eine solche Positioniervorrichtung könnte mit der in Fig. 4 gezeigten Positioniervorrichtung 80 funktionell seriell gekoppelt sein, so daß insgesamt eine Bewegung der Positionierspitze 84 mit sechs unabhängigen Bewegungsfreiheitsgraden möglich ist (drei translatorische Bewegungen und drei Rotationsbewegungen). Selbstverständlich ist auch jede andere Kombination an Übertragungseinheiten 2 möglich, so daß insgesamt beispielsweise ein Spielraum von zwei bis sechs Bewegungsfreiheitsgraden abgedeckt werden kann.

[0070] Fig. 6 zeigt eine Querschnittansicht eines als elektromagnetischer Aktuator ausgebildeten Antriebsmittels 72. Der bewegliche, angetriebene Teil 74 des Antriebsmittels 72 weist dabei eine kastenförmige Topfform auf, deren äußere Bodenseite mit dem zweiten Schenkelabschnitt 32 des zweiten Abschnittes 6 starr verbunden wird. Der unbewegliche, antreibende Teil 76 des Antriebsmittels 72 weist dabei eine E-Form auf, deren unterer und oberer Querteil als Permanentmagnet 90 ausgebildet sind. Alternativ kann ein Permanentmagnet 90 im Bereich dieser Querteile mit dem unbeweglichen Teil 76 starr verbunden sein. Der mittlere Querteil 91 des unbeweglichen Teils 76 ragt dabei in die Öffnung des topfförmigen Teils 74 und füllt dieses vom Querschnitt im wesentlichen aus. Ferner ist die Wandstärke des topfförmigen Teils 74 so bemessen, daß sie im wesentlichen die Freiräume zwischen den Querteilen des unbeweglichen Teils 76 im wesentlichen ausfüllen. Um den Außenabschnitt des topfförmigen Teils 74 (bzw. in die Außenwand eingelassen) ist eine stromleitende Wicklung 92 gewickelt, welche bei Anlegen eines Stroms ein Magnetfeld innerhalb des topfförmigen Teils 74 erzeugt, das in Richtung des Topfbodens oder in Gegenrichtung ausgerichtet ist. Dieses Magnetfeld wirkt

auf den als Polschuh der beiden Permanentmagneten 90 ausgebildeten mittleren Querteil 91 des unbeweglichen Teils 76. Abhängig von der angelegten Stromstärke und der rückwirkenden Kraft auf das bewegliche Teil 74 stellt sich somit eine Relativposition des beweglichen Teils 74 zu dem unbeweglichen Teil 76 ein. Die rückwirkende Kraft wird bei der in Fig. 5 gezeigten Positioniervorrichtung 80 durch die rückstellenden Kräfte der einzelnen Biegegeelenke 26, 28, 34, 36, 50, 52, 58 und 60 hervorgerufen, wenn diese aus ihrer Ruhelage ausgeschwenkt werden. Da die auf das bewegliche Teil 74 ausgeübte Kraft proportional zu dem angelegten Strom ist, kann insgesamt eine gute Steuerung der Linearbewegung erzielt werden. Im Zusammenspiel mit einer entsprechenden Meßeinrichtung und einer zugehörigen Regelungsschleife zwischen Meßeinrichtung und Antriebsmittel 72 kann eine sehr genaue Steuerung der Linearbewegung erfolgen.

[0071] Fig. 7 zeigt zwei perspektivische Ansichten einer speziellen Ausgestaltung der in der erfindungsgemäßen Bewegungsübertragungsvorrichtung eingesetzten mit Einkerbungen ausgebildeten Biegegeelenke. In dem in Figur 7 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Einkerbung kreisförmig (es sind auch alle anderen Formen an Einkerbungen möglich). Zusätzlich sind in den beiden Darstellungen der Fig. 7 jeweils die verschiedenen Parameter eingezeichnet, die zum Beschreiben des kreisförmigen Biegegeelenkes herangezogen werden können. Ein kreisförmiges Biegegeelenk kann als ein Balken mit variierender Querschnittsfläche angesehen werden. Falls ein reines Biegemoment  $M$  auf die Spitze dieses Biegegeelenkes ausgeübt wird, biegt dieses um einen Winkel  $\alpha$ . Die Winkelsteifigkeit des Biegeelementes wird definiert als  $K = M/\alpha$ . Diese Winkelsteifigkeit  $K$  kann durch eine vereinfachte Formel angenähert werden, die eine sehr gute Näherung der tatsächlichen Winkelsteifigkeit liefert:

$$K = \frac{2 \cdot E \cdot b \cdot e^{2.5}}{9 \cdot \pi \cdot r^{0.5}}$$

wobei  $E$  der Young-Modulus,  $b$  die Breite des Biegegeelenkes,  $e$  die Wandstärke des Biegegeelenkes an seiner dünnsten Stelle und  $r$  der Radius des kreisförmigen Ausschnittes ist. Mit Hilfe dieser Näherungsformel kann beispielsweise die Rückstellkraft einzelner ausgelenkter Abschnitte einer Übertragungseinheit 2 berechnet werden.

[0072] Ausgehend von dieser Formel kann ferner eine Näherungsformel für die maximale Biegebelastung in dem Biegegeelenk als eine Funktion der Auslenkung  $\alpha$  angegeben werden:

$$\sigma = \frac{4 \cdot E \cdot \sqrt{e} \cdot \alpha}{3 \cdot \pi \cdot \sqrt{r}}$$

[0073] Insgesamt wird aus dieser Formel deutlich, daß kleine Radien der kreisförmigen Biegeelenke eine hohe Biegebelastung und große Radien eine niedrige Biegebelastung hervorrufen. Dies zeigt, daß im Zuge der Miniaturisierung der Übertragungseinheit 2 die einzelnen Abschnitte 4, 6 und 8 auch über einfache kreisförmige Biegeelenke mit großem Radius verbunden sein können (anstelle zusätzlich über die Balken 22, 24, 46 und 48 und die Parallelogramm-Schwenkgelenk-Ausbildung), so daß im Ergebnis prinzipiell nur eine kinematische Anordnung dreier orthogonal miteinander verbundener Biegeelenke vorliegt. Die drei Abschnitte 4, 6 und 8 der Übertragungseinheit 2 müssen daher lediglich nur noch so groß dimensioniert werden, daß sie eine Belastungsverteilung zwischen den seriell miteinander gekoppelten Biegeelenken und weiterhin eine Verbindungsmöglichkeit mit dem Antriebsmittel 72 bzw. dem Ausgang 82 und 84 bzw. der Befestigung an einer festen Basis 88 bieten.

[0074] Für weitere Details bezüglich der Ausbildung der kreisförmigen Biegeelenke, insbesondere im Zusammenhang mit ihrer Herstellung über ein Elektroerosionsverfahren, wird auf die Veröffentlichung "Fatigue failure of thin wireelectrodischarge machined flexible hinges" von Simon Henein, Cédric Aymon, Stefano Bottinelli und Raymond Clavel in Proc. of SPIE symp. on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Boston, USA, 19.-22. September 1999 verwiesen. Die dortige Offenbarung wird durch Bezugnahme explizit in die vorliegende Beschreibung mit aufgenommen.

[0075] Fig. 8 zeigt in perspektivischer Ansicht ein Ausführungsbeispiel einer weiteren Positionierungsvorrichtung mit einer zweiten Bewegungsübertragungsvorrichtung, die aus drei Übertragungseinheiten 2' ähnlich den Übertragungseinheiten 2 der ersten Bewegungsübertragungsvorrichtung aufgebaut ist. Die Übertragungseinheiten 2 und 2' unterscheiden sich lediglich darin, daß bei den Übertragungseinheiten 2' jeweils der erste Abschnitt 4 sowie das aus den Biegeelenken 26, 28, 34 und 36 sowie den Balken 22 und 24 bestehende Parallelogramm-Biegeelenke zwischen dem ersten Abschnitt 4 und dem zweiten Abschnitt 6 fehlt und der eingangsseitige zweite Abschnitt 6' etwas unterschiedlich ausgebildet ist. Im übrigen sind die Übertragungseinheiten 2 und 2' jedoch gleich aufgebaut, so daß für eine nähere Beschreibung dieser Ausbildung auf die obigen Ausführungen verwiesen wird.

[0076] An dem zweiten Abschnitt 6' jeder Übertragungseinheit 2' ist ein beweglicher, angetriebener Teil 94 eines Antriebsmittels 96 so angebracht, daß der zweite Abschnitt 6' jeder Übertragungseinheit 2' unter einem bestimmten Winkel zur entsprechenden Erstreckungsrichtung der zugehörigen Übertragungseinheit 2' angetrieben wird. Hierzu ist ein fester antreibender Teil 98 des Antriebsmittels als Art Laufstange ausgebildet, entlang der der bewegliche Teil 94 nach Art eines Linearmotors bewegt werden kann. In dem in Fig. 8 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt der Antrieb des zweiten

(Eingangs)-Abschnitts 6' von allen drei Übertragungseinheiten 2' parallel der Z-Richtung, die in Fig. 8 von oben nach unten verläuft (dies muß jedoch nicht immer der Fall sein, beispielsweise können alle drei festen Teile 98 unter einem bestimmten Winkel zur Z-Richtung angeordnet sein). Darüber hinaus sind in dem in Fig. 8 gezeigten Ausführungsbeispiel die zweiten (Eingangs)-Abschnitte jeder Übertragungseinheit unter dem gleichen Winkel zu dem festen Teil 98 ihres zugehörigen Antriebsmittels angeordnet (alternativ können diese auch unter verschiedenen Winkel angeordnet sein). Dieser Winkel kann dabei zwischen 90° und 180° liegen, wobei die Grenzwerte 90° und 180° ausgeschlossen und die Winkel nahe diesen Werten ungünstig sind, da in diesen Winkelbereichen die Verfahrwege des gekoppelten Ausgangsabschnitts 8 senkrecht zur Z-Richtung bis auf Null vermindert werden. Optimal ist die in Fig. 8 dargestellte Konfiguration mit einem Winkel von etwa 135°, bei dem neben dem langen Verfahrweg entlang der Z-Richtung auch noch maximale Verfahrwege in X- und Y-Richtung möglich sind. Der Verfahrweg in Z-Richtung ist im übrigen durch die Länge des festen Teils 98 des Antriebsmittels (bzw. des Verfahrwegs des Linearmotors) vorgegeben.

[0077] Die Bewegung des gekoppelten Ausgangsabschnitts 8 in X- und/oder Y-Richtung erfolgt dabei durch unterschiedliches Einstellen der Z-Koordinate der drei beweglichen Teile 94 bezüglich ihrer festen Teile 98. Fährt beispielsweise bei der in Fig. 8 gezeigten Stellung lediglich die links eingezeichnete Übertragungseinheit 2' nach oben, so bewegt sich der gekoppelte Ausgangsabschnitt 8 sowohl in der Z-Richtung nach oben als auch in der X-Richtung nach links. Durch entsprechendes Gegensteuern der beiden rechts eingezeichneten Übertragungseinheiten in der Z-Richtung nach unten, kann beispielsweise nur eine Bewegung des gekoppelten Ausgangsabschnitts 8 in der X-Richtung nach links erfolgen. Damit ist eine unabhängige Steuerung des gekoppelten Ausgangsabschnitts in alle drei Raumrichtungen möglich.

[0078] Die Erstreckungsrichtung der Übertragungseinheiten 2' verläuft entlang der Balken 46, 48 zwischen dem zweiten Abschnitt 6' und dem Ausgangsabschnitt 8 (bei der in Fig. 8 gezeigten, nicht ausgelenkten Stellung der Doppel-Biegeelenke 50, 52, 58 und 60).

#### Patentansprüche

1. Bewegungsübertragungsvorrichtung zum Übertragen von wenigstens zwei eingangsseitigen (6) Bewegungskomponenten mit jeweils einem Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige (82, 84) Bewegung mit wenigstens zwei Bewegungsfreiheitsgraden oder umgekehrt, welche pro eingangsseitigem (6) Bewegungsfreiheitsgrad eine Übertragungseinheit (2) umfaßt, wobei diese Übertragungseinheiten (2) über ihre jeweiligen Ausgangs-

- abschnitte (8) funktionell parallel miteinander gekoppelt sind, jede Übertragungseinheit (2) einen festlegbaren ersten Abschnitt (4) und als Eingangsabschnitt einen an diesem ersten Abschnitt (4) über ein erstes Gelenkmittel (22, 26, 34; 24, 28, 36) angelenkten zweiten Abschnitt (6) umfaßt, der in Richtung des entsprechenden Bewegungsfreiheitsgrads der Übertragungseinheit (2) beweglich angelenkt ist, wobei der zweite Abschnitt (6) so ausgebildet ist, daß er über ein zweites Gelenkmittel (46, 50, 58; 48, 52, 60) ausgangsseitig eine freie Bewegung entlang der Bewegungsfreiheitsgrade der anderen Übertragungseinheiten (2) zuläßt, dadurch gekennzeichnet, daß das erste (22, 26, 34; 24, 28, 36) und das zweite (46, 50, 58; 48, 52, 60) Gelenkmittel als Biegegelenk ausgebildet sind und daß der zweite Abschnitt (6), das zweite Gelenkmittel (50; 52; 58; 60) und der Ausgangsabschnitt (8) derart ausgebildet sind, daß sie zusammen entlang des eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrades der zugehörigen Übertragungseinheit (2) eine steife Struktur bilden.
2. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach Anspruch 1, welche drei Übertragungseinheiten (2) umfaßt zum Übertragen von drei eingangsseitigen (6) Bewegungskomponenten mit jeweils einem translatorischen Bewegungsfreiheitsgrad, in eine ausgangsseitige (82, 84) Bewegung mit drei translatorischen Bewegungsfreiheitsgraden.
  3. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher die einzelnen Übertragungseinheiten (2) einstückig ausgebildet sind.
  4. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das erste Gelenkmittel (22, 26, 34; 24, 28, 36) und/oder das zweite Gelenkmittel (46, 50, 58; 48, 52, 60) nach Art eines Parallelogramm-Schenkgelenks ausgebildet ist, wobei das Parallelogramm-Schenkgelenk ein Balkenpaar (22, 24; 46, 48) mit jeweils einem Biegegelenk (26, 28, 34, 36; 50, 52, 58, 60) an allen vier Balkenenden umfaßt und die beiden Enden jeweils eines Balkens (22; 24; 46; 48) über die entsprechenden Biegegelenke (26, 28, 34, 36; 50, 52, 58, 60) jeweils mit dem ersten (4), dem zweiten (6) Abschnitt bzw. dem Ausgangsabschnitt (8) gekoppelt sind.
  5. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher einzelne oder alle Biegegelenke (26; 28; 34; 36; 50; 52; 58; 60) als insbesondere Materialeinkerbungen ausgebildet sind, insbesondere mit einer kreisförmigen Geometrie.
  6. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, bei welcher die zweiten Gelenkmittel (50; 52; 58; 60) als Doppel-Biegegelenke ausgebildet sind, wobei ein Doppel-Biegegelenk zwei über ein Belastungsverteilungsmittel, (62) funktionell seriell miteinander gekoppelte Biegegelenke (54, 56) umfaßt, die jeweils eine Schwenkbewegung in unterschiedliche Richtung ermöglichen.
  7. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Übertragungseinheiten (2) plattenartig ausgebildet sind.
  8. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei welcher der erste Abschnitt (4) und/oder der Ausgangsabschnitt (8) einer Übertragungseinheit (2) balkenförmig oder plattenförmig ausgebildet sind, der zweite Abschnitt (6) einen ersten und einen zweiten Schenkelabschnitt (30, 32) umfaßt, die unter einem bestimmten Winkel, insbesondere senkrecht zueinander angeordnet sind, eine erste Seitenfläche (10) des ersten Abschnitts (4) über ein erstes Parallelogramm-Schenkgelenk (22, 26, 34, 24, 28, 36) mit dem ersten Schenkelabschnitt (30) des zweiten Abschnitts (6) und der zweite Schenkelabschnitt (32) des zweiten Abschnitts (6) über ein zweites Parallelogramm-Schenkgelenk (46, 50, 58, 52, 48, 60) mit dem Ausgangsabschnitt (8) derart gekoppelt ist, daß das erste (22, 26, 34, 24, 28, 36) und das zweite (46, 50, 58, 52, 48, 60) Parallelogramm-Schenkgelenk unter einem bestimmten Winkel, insbesondere orthogonal zueinander ausgerichtet sind.
  9. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach Anspruch 8, bei welcher das Balkenpaar (22, 24) des ersten Parallelogramm-Schenkgelenks (22, 26, 34, 24, 28, 36) zwei gegenüberliegende Seitenflächen (12, 16) des ersten Abschnitts (4) und das Balkenpaar (46, 48) des zweiten Parallelogramm-Schenkgelenks (46, 50, 58, 52, 48, 60) die beiden anderen gegenüberliegenden Seitenflächen (10, 14) des ersten Abschnitts (4) sowie den ersten Schenkelabschnitt (30) des zweiten Abschnitts (6) umgreifen.
  10. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher in jeder Übertragungseinheit (2) eine mechanische Sperre (38, 40; 64, 66) vorgesehen ist, welche den Bewegungsbereich des zweiten Abschnitts (6) bezüglich des ersten Abschnitts (4) und/oder des zweiten Abschnitts (6) bezüglich des Ausgangsabschnitts (8) entlang des zugehörigen Bewegungsfreiheitsgrads in beiden Richtungen einschränkt.
  11. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die



einzelnen Übertragungseinheiten (2) mittels einer Funkenerosionsbearbeitung, insbesondere einer Draht-Funkenerosionsbearbeitung hergestellt sind.

12. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, bei welcher die beiden Biegeelenke (54, 56) der Doppel-Biegeelenke (50; 52; 58; 60) unter einem bestimmten Winkel zueinander ausgerichtet sind und jedes der beiden Biegeelenke (54, 56) bezüglich der Plattenfläche der zugehörigen Übertragungseinheit (2) um einen bestimmten Winkel verdreht ist.
13. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, bei welcher die Doppel-Biegeelenke (50; 52; 58; 60) so dimensioniert sind, daß sie neben der Schwenkbewegung noch eine Torsionsbewegung zulassen.
14. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Masse der beweglichen Teile (6; 8; 22; 24; 28; 34; 36; 46; 48; 50; 52; 58; 60) einer Übertragungseinheit (2) gewichtsmäßig minimiert ist.
15. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche aus einer Titan-Legierung, aus einer Titan-Nickel-Legierung, aus Stahl, aus einer Stahl-Legierung, aus Edelstahl, aus Aluminium, aus einer Aluminium-Legierung, aus Kupfer, aus einer Kupfer-Legierung, einer Keramik oder einem Kunststoff hergestellt ist.
16. Positioniervorrichtung mit einer Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher jede Übertragungseinheit (2) über ihren Eingangsabschnitt (6) mit einem Antriebsmittel (72) zum Antreiben dieses Eingangsabschnitts (6) in Richtung des zugehörigen Bewegungsfreiheitsgrads gekoppelt ist.
17. Positioniervorrichtung nach Anspruch 16, bei welcher das Antriebsmittel (72) ein elektromagnetischer Aktuator, ein piezoelektrischer Aktuator oder ein anderer elektromotorischer Präzisionsantrieb zur Erzeugung einer Linearbewegung ist, insbesondere gekoppelt mit einem Positionsmeßmittel.
18. Positioniervorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, welche als Feinpositioniervorrichtung ausgebildet und/oder über die ersten Abschnitte (4) jeder Übertragungseinheit (2) mit einer Makropositioniervorrichtung funktionell seriell gekoppelt ist.
19. Positioniervorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, bei welcher die Antriebsmittel (72) von einem Steuerungsmittel mit Korrekturalgorithmus gesteuert werden, wobei der Korrekturalgorithmus

derart ausgestaltet ist, daß bei Antreiben des Ausgangs (82, 84) der Bewegungsübertragungsvorrichtung entlang einer bestimmten Richtung die aufgrund der Biegeelenke (26; 28; 34; 36; 50; 52; 58; 60) hervorgerufene (n) zwangsgekoppelte (n) Translationsbewegung (en) durch entsprechendes Antreiben eines oder mehrerer der anderen Antriebsmittel (72) kompensiert wird bzw. werden.

20. Positioniervorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, welche derart im Arbeitsraum ausgerichtet ist, daß bei einer ausgangsseitigen (82, 84) Bewegung der Bewegungsübertragungsvorrichtung alleinig entlang der in Schwerkrafttrichtung ausgerichteten Z-Richtung alle Antriebsmittel (72) im wesentlichen gleich beansprucht sind.
21. Positioniervorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, welche derart im Arbeitsraum ausgerichtet ist, daß bei einer ausgangsseitigen (82, 84) Bewegung der Bewegungsübertragungsvorrichtung alleinig entlang der in Schwerkrafttrichtung ausgerichteten Z-Richtung lediglich ein Antriebsmittel (72) beansprucht ist.
22. Positioniervorrichtung nach Anspruch 21, bei welcher das Antriebsmittel (72) für die Bewegung entlang der Z-Richtung mit einem gegen die Schwerkraft vorgespannten passiven Mittel, insbesondere einem Federmittel funktionell parallel gekoppelt und/oder leistungsmäßig stärker ausgebildet ist als die übrigen Antriebsmittel (72).
23. Meßvorrichtung zum Messen einer Bewegung im Raum mit einer Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, deren Eingang der Ausgang (82, 84) der Bewegungsübertragungsvorrichtung ist, bei der die Eingangsabschnitte (6) jeder Übertragungseinheit (2) mit entsprechenden Meßmitteln gekoppelt sind, die eine Positionsmessung entlang des zugehörigen Bewegungsfreiheitsgrades des entsprechenden Eingangsabschnitts (6) ermöglichen.
24. Verwendung einer Positionier- oder Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 23 auf dem Gebiet der Werkstückbearbeitung, Funkenerosionsbearbeitung, der elektrochemischen Bearbeitung, der Halbleiterfertigung, der Fertigung von optoelektronischen Verbindungsbaulementen und Mikrosystemen, der Robotik, als Kraftmesser und/oder Joystick mit Kraftrückführung.
25. Bewegungsübertragungsvorrichtung zum Übertragen von drei eingangsseitigen Bewegungskomponenten mit jeweils einem Bewegungsfreiheitsgrad in eine ausgangsseitige Bewegung mit drei Bewegungsfreiheitsgraden oder umgekehrt, welche drei

Übertragungseinheiten (2') mit jeweils einem Eingangs- (6') und einem Ausgangsabschnitt (8) umfaßt, die über ihre Ausgangsabschnitte (8) funktionell parallel miteinander gekoppelt sind, jede Übertragungseinheit (2') eine Erstreckungsrichtung von ihrem jeweiligen Eingangsabschnitt (6') zu ihrem jeweiligen Ausgangsabschnitt (8) aufweist und als Biegegelenke (50, 52, 58, 60) ausgebildete Gelenkmittel derart umfaßt, daß ihr jeweiliger Ausgangsabschnitt (8) freie Bewegungen senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung zuläßt, wobei die Eingangsabschnitte (6') der Übertragungseinheiten (2') derart ausgestaltet sind, daß die jeweilige eingangsseitige Bewegung in einem Winkel zur Erstreckungsrichtung eingeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegegelenke (50, 52, 58, 60) nach Art von Parallelogramm-Schwenkgelenken ausgebildet sind, wobei jedes Parallelogramm-Schwenkgelenk ein Balkenpaar (46, 48) mit jeweils einem Biegegelenk (50, 52, 58, 60) an allen vier Balkenenden umfaßt und die beiden Enden jeweils eines Balkens (46, 48) über die entsprechenden Biegegelenke (50, 52, 58, 60) jeweils mit dem Eingangsabschnitt (6') und dem Ausgangsabschnitt (8) gekoppelt sind.

26. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach Anspruch 25, bei welcher die Eingangsabschnitte (6') der Übertragungseinheiten (2') derart ausgebildet sind, daß die jeweiligen eingangsseitigen Bewegungen parallel zueinander eingeleitet werden.
27. Bewegungsübertragungsvorrichtung nach Anspruch 25 oder 26, bei welcher die Übertragungseinheiten (2') gemäß den Merkmalen der Unteransprüche 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 oder 15 ausgebildet sind.
28. Positioniervorrichtung mit einer Bewegungsübertragungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 27, bei welcher jede Übertragungseinheit (2') über ihren Eingangsabschnitt (6') mit einem Antriebsmittel (96) zum Antreiben dieses Eingangsabschnitts (9') entlang des zugehörigen eingangsseitigen Bewegungsfreiheitsgrads gekoppelt ist.
29. Positioniervorrichtung nach Anspruch 28, bei welcher die Antriebsmittel (96) zusammen mit den zugehörigen Eingangsabschnitten (6') nach Art von Linearmotoren ausgebildet sind.

FIG. 1a

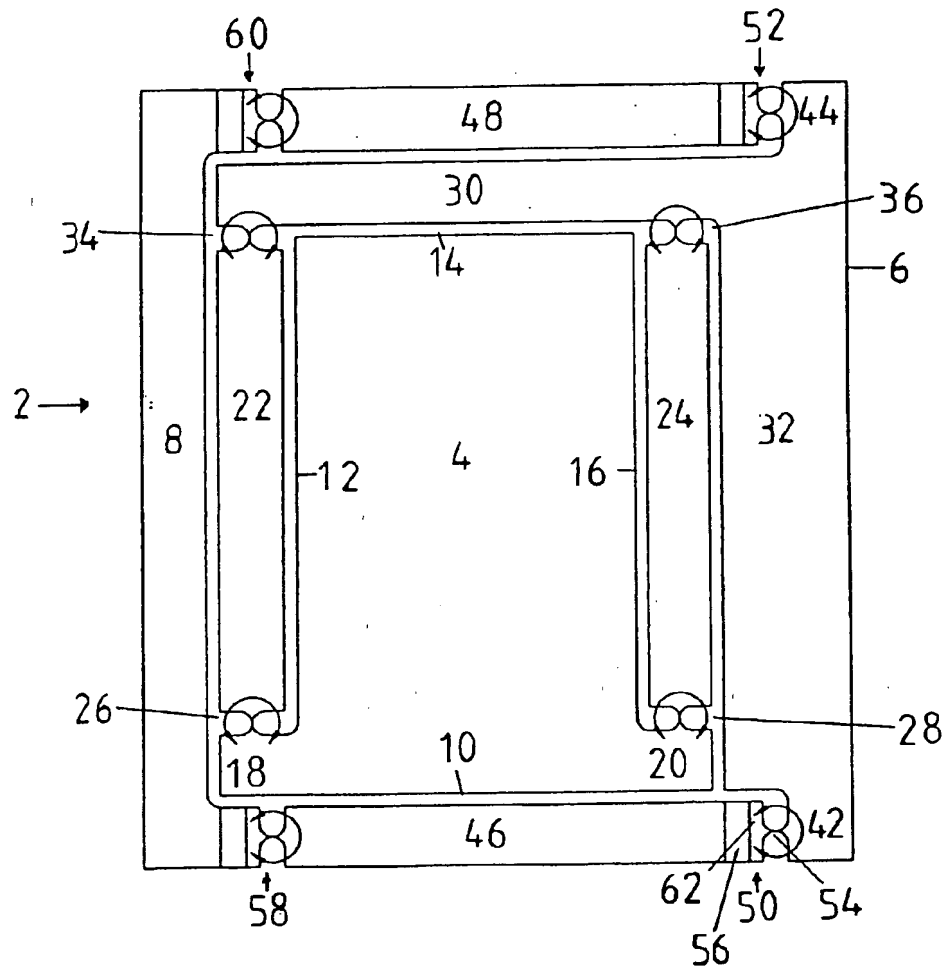


FIG. 1b

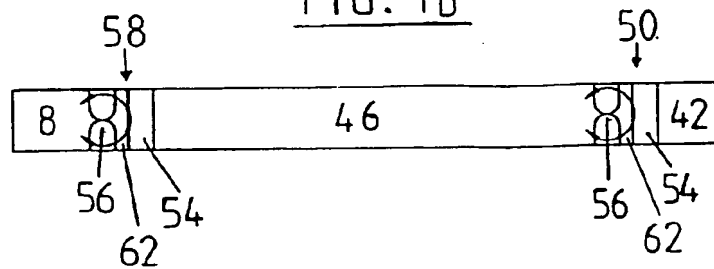


FIG. 1c

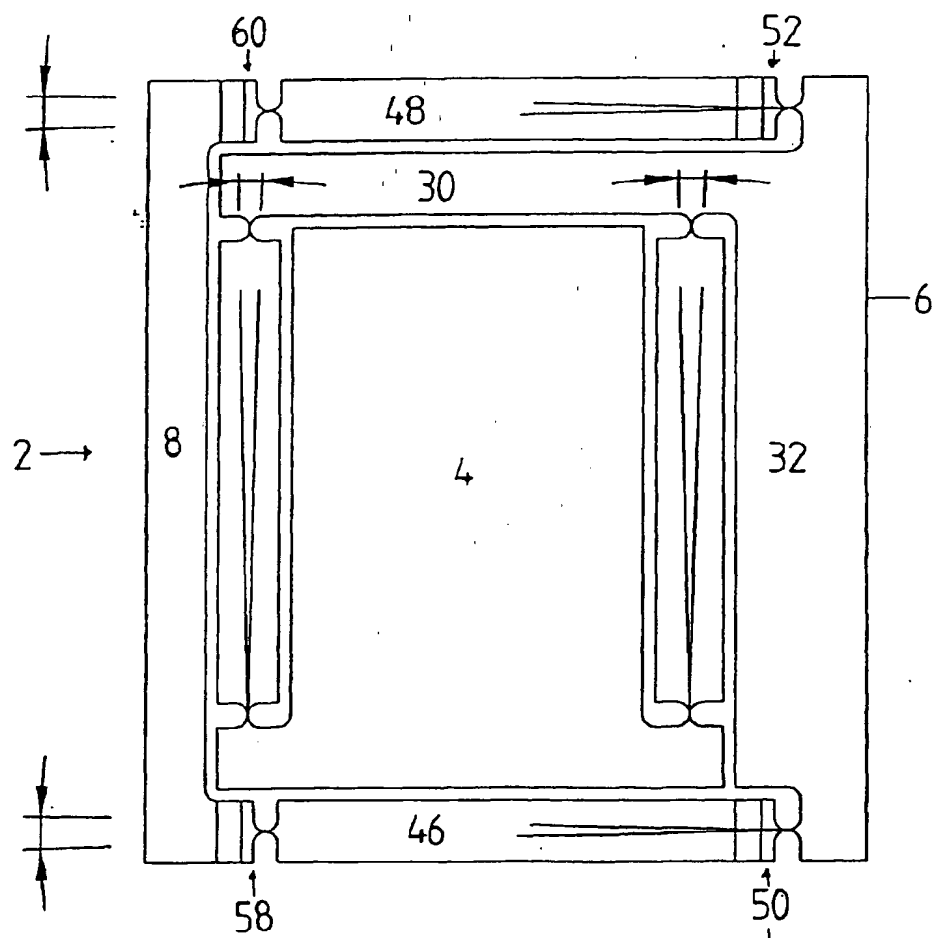


FIG. 1d

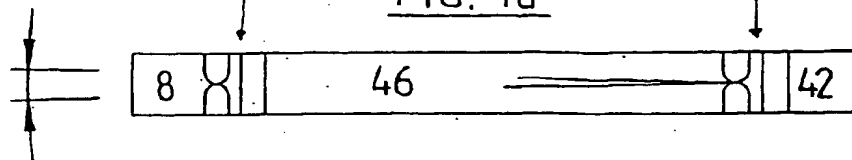


FIG. 2

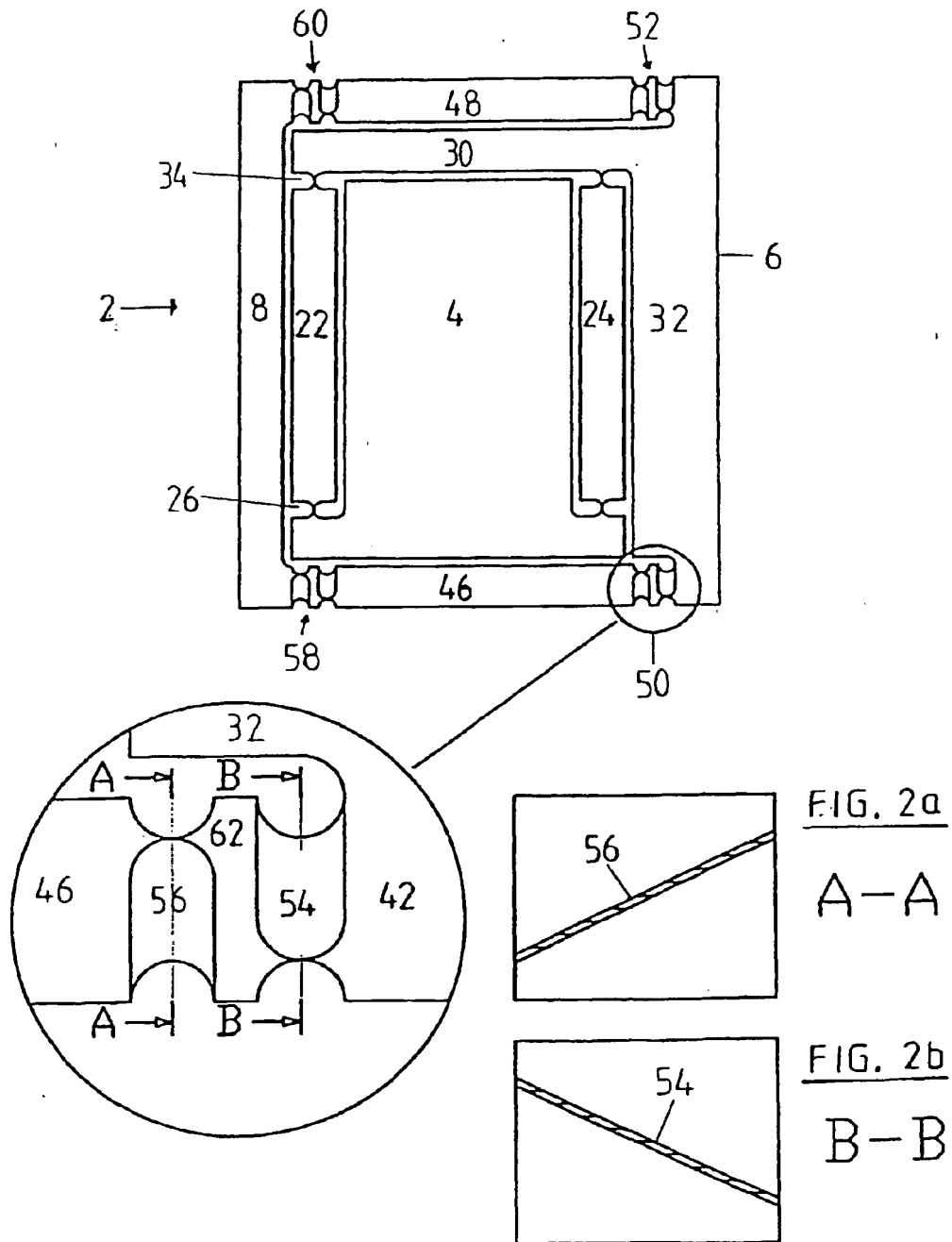


FIG. 3

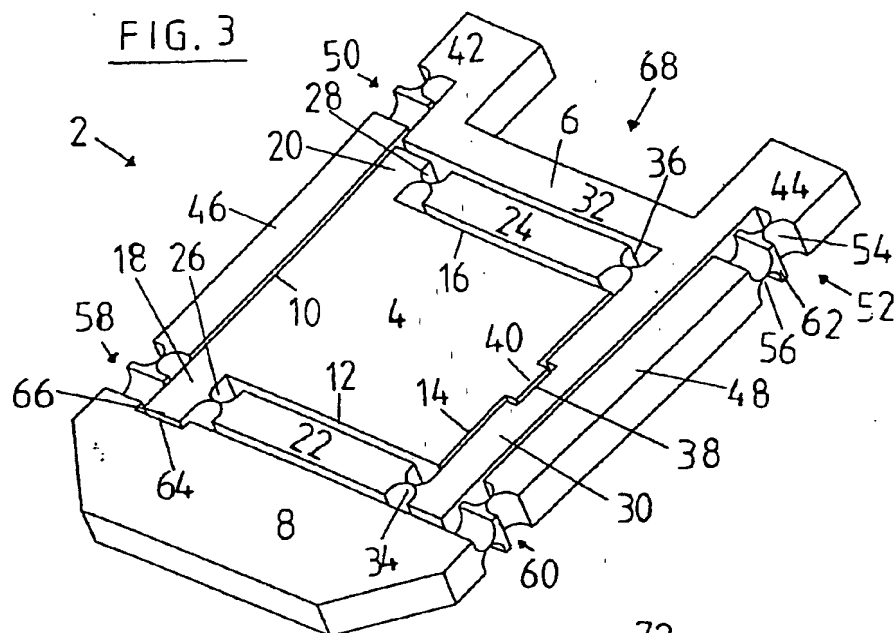
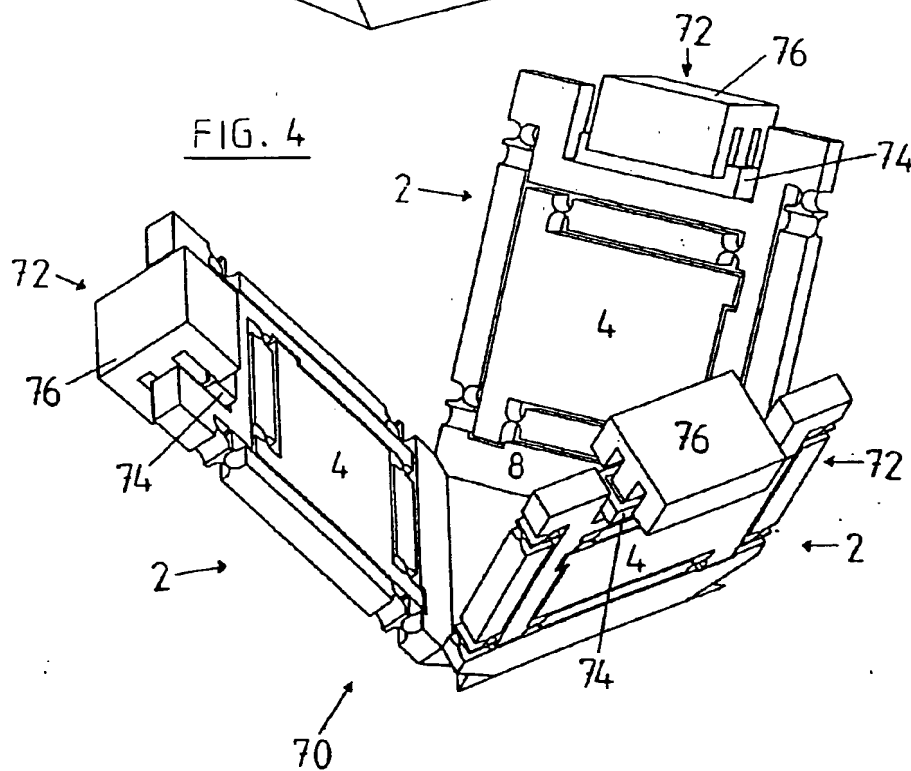


FIG. 4



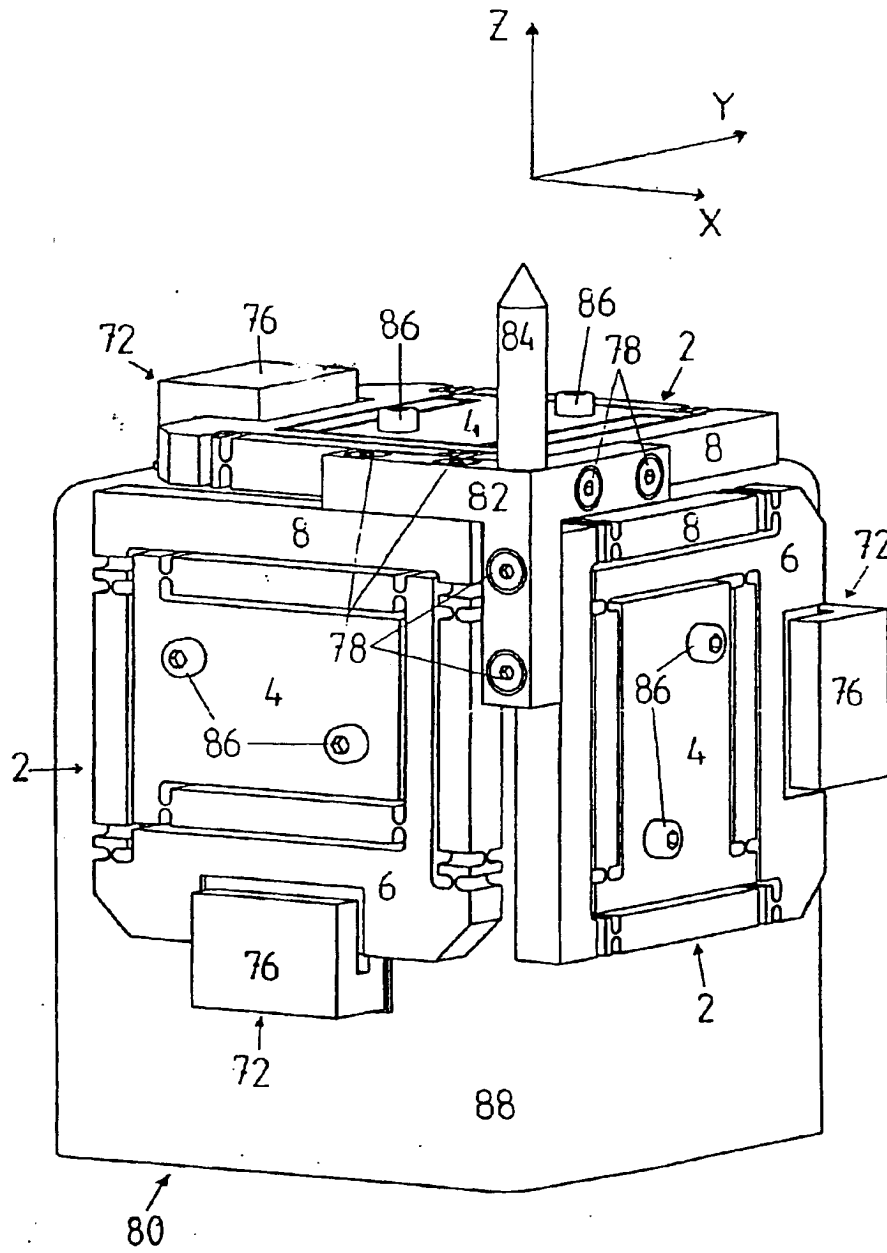


FIG. 5

FIG. 6

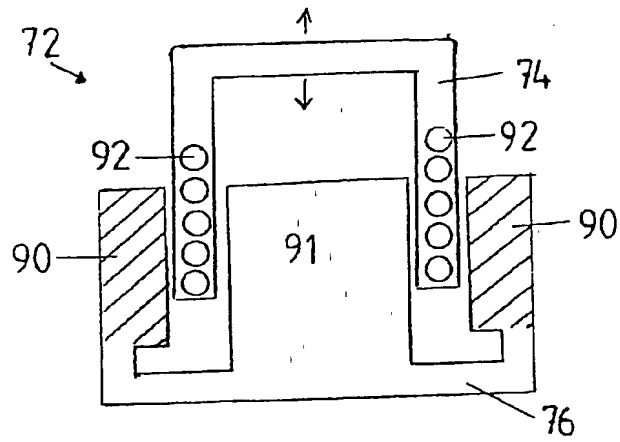
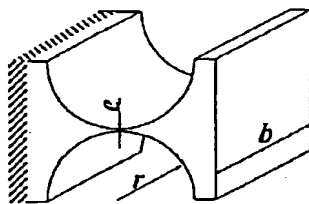
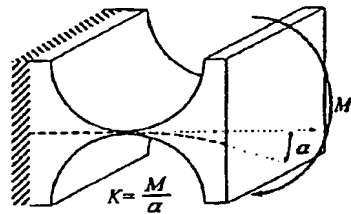


FIG. 7



54;56



54;56



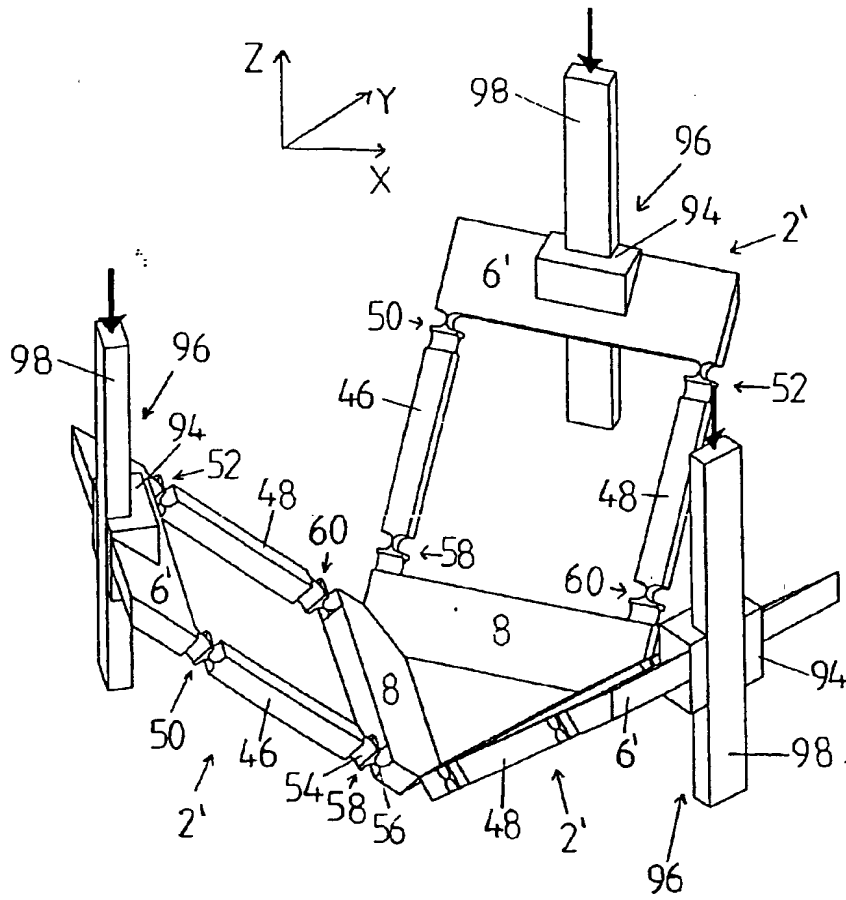


FIG. 8